

INFO-INIAF
Dirección Nacional de Investigación
Revista Científica de Investigación
Año 3, número 6, volumen 1. Gestión 2015

Trigo
generando
tecnología de producción



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

Evo Morales Ayma

PRESIDENTE DEL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

César Hugo Cocarico Yana

MINISTRO DE DESARROLLO RURAL Y TIERRAS

Marisol Solano Charis

VICEMINISTRA DE DESARROLLO RURAL AGROPECUARIO

Carlos Osinaga Romero

DIRECTOR GENERAL EJECUTIVO - INIAF

Hernán Meneses Sanabria

DIRECTOR NACIONAL DE INVESTIGACIÓN - INIAF

PRESENTACIÓN

El Estado Plurinacional de Bolivia a través del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT) tiene como principal objetivo alcanzar la seguridad alimentaria con soberanía, por tal motivo sus gestiones se orientan a desarrollar diferentes acciones para fortalecer la productividad y producción de alimentos en los principales rubros que consumimos los bolivianos y bolivianas, estas acciones se desarrollan a través de diferentes instituciones dependientes de la entidad matriz y a diferentes niveles en el complejo productivo, como es la competencia del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), que tiene la misión de contribuir con innovaciones agropecuarias y forestales.

En este contexto me es grato presentar algunos resultados, producto de la investigación generada en el cultivo de trigo, un rubro importante para la alimentación y nutrición de nuestro pueblo el cual se aborda a través de la investigación generada por técnicos del INIAF: investigaciones dirigidas al aumento de la productividad, la tolerancia a enfermedades y ambientes climáticos adversos, mejora de la calidad del grano de trigo desde el punto de vista nutricional, investigaciones encaradas para obtener nuevas variedades con dichas características que se constituirán en una alternativa para nuestros productores de las diferentes zonas trigueras del país.

Dr. César Hugo Cocarico Yana

Ministro de Desarrollo Rural y Tierras

COMITÉ EDITOR

Ing. Alvaro Otondo Maldonado M.Sc.

Ing. Juan José Vicente Rojas M.Sc.

Dra. Carmen Cabrera Montecinos M.Sc.

Ing. José Campero Marañón M.Sc.

PRIMERA IMPRESIÓN 1000 EJEMPLARES

Diseño: IMPRESIONES MASTER s.r.l.

ISSN 2308-250X

Depósito legal: 4-3-16-13 P.O.

Key title: Info INIAF

© Copyright: 2015

**REVISTA CIENTÍFICA DE INVESTIGACIÓN INFO-INIAF
“TRIGO GENERANDO TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN”
NÚMERO 6, VOLUMEN 1.**

Los editores han sido cuidadosos de reproducir los artículos publicados en esta revista. Pero las ideas y opiniones de los artículos son de entera responsabilidad de los autores. Se permite la reproducción total o parcial por cualquier medio de los artículos de la presente Revista, con la debida autorización y cite de la fuente respectiva, se agradecerá el envío de un ejemplar.

DIRECCIÓN OFICINA CENTRAL:

Calle Batallón Colorados No. Piso 16. Edificio El Cóndor. La Paz-Bolivia

Teléfonos y Fax 591-2-2441153/2-2441608/2-2113629

www.iniaf.gob.bo - contacto@iniaf.gob.bo

Casilla Postal 4793

ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE TORALAPA:

Km 73 ½, Carretera antigua Cochabamba – Santa Cruz.

Municipio de Tiraque, Comunidad Cebada Jichana, Cochabamba-Bolivia

Programa Nacional de Trigo-INIAF (Cochabamba)

Av. Blanco Galindo Km 5 1/2, C. Manuel Anaya Z. Coña Coña Norte s/n

Tel.Fax: (04)4269353-(04)4440740

Esta publicación cuenta con el apoyo del Banco Mundial en Bolivia, DANIDA, COSUDE

PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), es la Institución Descentralizada bajo tuición del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRYT), cuya competencia es contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria de la población boliviana a través de la generación de innovaciones tecnológicas como resultado de procesos de investigación que contribuyan a mejorar los índices productivos y por ende los ingresos y la calidad de vida de los productores y de la población en general.

En circunstancias en el que los desafíos en investigación ameritan acciones efectivas que resuelvan problemas reales como el de la seguridad y soberanía alimentaria, el manejo racional del agua y la tierra, tengo el agrado de presentar algunos artículos técnicos que constituyen el testimonio del avance de acciones en el marco del Plan Estratégico Institucional del INIAF 2011-2015 que propone las actividades definidas con el fin de lograr los resultados planteados en un trabajo comprometido con las productoras y productores en coherencia con el Plan Sectorial del MDRYT para la Revolución Rural Agraria y Forestal y el Plan Nacional de Desarrollo Bolivia Digna, Soberana, Productiva y Democrática para Vivir Bien.

El trigo constituye uno de los nueve rubros estratégicos de investigación que desarrolla el INIAF. El Instituto en el marco de su competencia, a partir del 2010 despliega actividades de investigación a través del Programa Nacional de Trigo (PN-Trigo) siendo ésta una entidad líder, responsable acreditando experiencia y solvencia científica, desarrollando tecnologías de producción del cultivo de trigo buscando mejorar los índices de productividad para contribuir y alcanzar las metas sectoriales establecidas por el Gobierno Nacional, orientadas a lograr la seguridad con soberanía alimentaria y el bienestar de la población boliviana en general.

Con el propósito de fortalecer la capacidad de investigación y un proceso de interacción el INIAF a través del PN-Trigo fue estableciendo alianzas estratégicas nacionales con la Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO), la Fundación de Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) e internacional con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Por las consideraciones citadas anteriormente el MDRYT, a través del INIAF pone a disposición de las instituciones, organizaciones sociales y productores en general la presente información técnica efectuada a lo largo de los 6 años de trabajo logrado con el aporte decidido de la dirección nacional de investigación, técnicos y productores de trigo en general.

Ing. Carlos Osinaga Romero *M.Sc.*

DIRECTOR GENERAL EJECUTIVO DEL INIAF

Contenido

Estabilidad en genotipos de trigo harinero en condiciones semiáridas	1
Félix Marza, Butrón Roberto, Félix Quispe, Gilberto Gutierrez, Benjamín Huallpa, Lisett Vaca y Erwin Jerez	
Caracterización de genotipos de trigo (<i>Triticum aestivum</i>) con resistencia a Piricularia durante el Verano 2014/2015 en Quirusillas, Santa Cruz, Bolivia	17
Diego Baldelomar, Sandro Cardenas y Karem Quispe	
Avances en la selección y difusión de trigos biofortificados en la zona andina de Bolivia	22
Cresencio Calle, Yamil Castro, Pablo España, Henry Ayaviri y Leonel Rodríguez	
Selección de cultivares de trigos harineros y duros tolerantes a Piricularia en la localidad de Quirusillas a partir de germoplasma introducido del CIMMYT	30
Roberto Butrón, Gonzalo Quispe, Félix Marza; Félix Quispe, Benjamín Huallpa, Gilberto Gutiérrez	
Evaluación de quince cultivares de trigo duro en condiciones semiáridas	37
Irene M. Gutiérrez, Félix Marza, Roberto Butrón, Félix Quispe, Gilberto Gutiérrez	
Evaluación preliminar de 138 genotipos de trigo harinero con aptitud para zonas semiáridas	43
Félix Quispe, Félix Marza, Roberto Butrón e Irene Gutiérrez	
Identificación de líneas promisorias en trigos biofortificados en la Estación Experimental de San Benito	48
Carla Escobar, Félix Marza, Roberto Butrón y Félix Quispe	
Correlación y coeficientes de sendero para variables agronómicas y componentes de rendimiento de trigo harinero	54
Santos Franklin, Félix Marza, Roberto Butrón y Félix Quispe	
Identificación de genotipos de trigo para zonas semiáridas del área tradicional de Bolivia	61
Gonzalo Quispe, Roberto Butrón, Félix Marza; Félix Quispe, Benjamín Huallpa, Gilberto Gutiérrez	
Características de grano relacionados con rendimiento de trigo	68
Roberto Butrón, Ruth Michma, Eddy Silva, Oswaldo Siñani, Félix Quispe y Félix Marza	
Estimación de la variabilidad fenotípica de trigo harinero para componentes de productividad	77
Nancy Huanca, Roberto Butrón, Félix Marza y Félix Quispe	
Ensayo comparativo de rendimiento de diez variedades de trigo en condiciones de altiplano central de Bolivia	84
Eddy Silva, Ruth Michma, Félix Marza, Roberto Butrón y Félix Quispe	
“INIAF – Yesera” Nueva variedad de trigo biofortificado para el Departamento de Tarija	90
Félix Marza, Gilberto Gutiérrez, Butrón Roberto, Félix Quispe, Benjamín Huallpa, Lisett Vaca y Erwin Jerez	

Estabilidad en genotipos de trigo harinero en condiciones semiáridas

Félix Marza, Butrón Roberto, Félix Quispe, Gilberto Gutierrez, Benjamín Huallpa, Lisett Vaca y Erwin Jerez

Programa Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF),

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

felix.marza@fulbrightmail.org

Resumen

Con el objetivo de identificar alternativas tecnológicas traducidas en variedades de alta productividad y calidad, se evaluaron 50 líneas de trigo de introducidas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) seleccionadas para zonas semiáridas. El estudio fue desarrollado entre el 2011 al 2014. La población de líneas fue establecida en ambientes con alta capacidad de discriminación de G*A. Los procesos de selección y de cuantificación de la interacción de genotipo*ambiente fueron realizados en el marco de la red nacional de trigo del Programa de mejoramiento del INIAF. Se aplicó una gama variada de herramientas de análisis, desde estadística descriptiva hasta métodos multivariados adecuados para los propósitos de fitomejoramiento. Se cuantificó y cualificó un total de 30 variables en las primeras etapas. Durante el desarrollo de líneas élite se alcanzó a evaluar un promedio de 12 variables entre agronómicas de adaptabilidad hasta componentes de rendimiento. Se alcanzó a identificar localidades con alta capacidad de discriminación de la interacción genotipo-ambiente. Se identificaron líneas elite con adaptabilidad y estabilidad para zonas trigueras del sur del país (líneas 333 y 331) así mismo, cultivares con adaptabilidad y estabilidad para condiciones de valle del departamento de Cochabamba (línea 337). Se identificó material con alta capacidad productiva y amplia adaptabilidad (línea 330).

Palabras clave: trigo, adaptabilidad, estabilidad, Biplot.

Abstract

In order to identify technological alternatives through varieties of high productivity and quality, 50 wheat lines introduced from the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), genotypes selected for semi-arid conditions. The study was developed between 2011 to 2014. The population of lines was established in environments with high capacity of G*A discrimination. Selection processes and quantification of the interaction of G*E were conducted under the national network for wheat improvement of INIAF. A wide range of statistical analysis tools were applied, from descriptive statistics to suitable multivariate methods for breeding purposes. A total of 30 variables were quantified and the beginning. During the development of elite lines an average of 12 variables were considered including agronomic adaptability to yield components. The study identified environments with high capacity of G*E discrimination. Elite lines with promising adaptability and stability were identified for the south region (lines 333 and 331), likewise, cultivars with adaptability and stability conditions to valley of Cochabamba (line 337) were recognized. Furthermore a promising elite line with high production capacity and wide adaptability (line 330) was identified.

Introducción

El trigo (*Triticum aestivum*, L.) es el cereal más ampliamente cultivado en el mundo en términos de superficie, actualmente es el alimento más estable e importante para una población de cerca de dos billones (36% de la población mundial). A nivel global, el trigo provee cerca del 55% de los carbohidratos y al

presente provee un promedio de alrededor del 20% de calorías consumidas por el hombre. El trigo básicamente es un cultivo de clima templado; pero debido a su diversidad genética, éste ha extendido sus fronteras y ha llegado a adaptarse casi a todos los climas y alturas del mundo. En Bolivia el trigo se constituye en

la base alimenticia de la población. El consumo per cápita es de 69 kg*año⁻¹, la demanda anual alrededor de 700.000 t, el análisis histórico (últimos 10 años) indica que la producción se encuentra entre 145 a 255 mil t*año⁻¹, representando del 21 al 36% 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 1.9 t*ha⁻¹) que en el área tradicional (0.7 a 0.9 t*ha⁻¹).

La mejora de la productividad sumada a la tolerancia a factores bióticos y abióticos adversos es esencial para responder al incremento poblacional y al crecimiento de la demanda. El trabajo del Programa Nacional de Trigo (PN-TRIGO) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) 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.

La estabilidad en el rendimiento de trigo, 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; Poysa *et al.* 1986). Estos desafíos se incrementan conforme el grado de variabilidad es mayor entre los ambientes o dentro de la especie (Allard y Bradshaw 1964). Los mejoradores disponen de los análisis de estabilidad, que les permiten determinar si los cultivares existentes o las líneas avanzadas se adaptan a condiciones ambientales favorables, desfavorables, o a ambas. La idea es identificar los sitios con condiciones óptimas para una determinada línea, y reunir la mayor cantidad de información posible acerca de comportamiento en diversos ambientes con el fin de zonificar su producción.

En el marco de los desafíos integrales de la cadena de valor, el programa de mejoramiento del INIAF pretende contribuir con la generación de variedades estables en su producción, particularmente para rendimiento y calidad, atributos que son muy importantes al momento de que los productores adopten los nuevos cultivares. La interacción genotipo por ambiente (G*A) 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.

En el ámbito de la generación tecnológica (variedades, recomendaciones tecnológicas y otros) un elemento fundamental al momento de la adopción es la aversión al riesgo del productor, aspecto sobre el que se debe brindar certeza. En línea con el mencionado desafío, es imperativo contar con información respecto a la estabilidad fenotípica para explicar el efecto de la G*A sobre el comportamiento de los genotipos en estudio y determinar los mejores dominios de recomendación. En el presente estudio se apela a métodos convencionales como el de Eberhart y Russel y AMMI (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) para la identificación y selección de los cultivares que cumplen con el objetivo de presentar estabilidad en su comportamiento a través de localidades y años. El objetivo del estudio desarrollado en varias campañas y años fue la evaluación y selección de cultivares con alto rendimiento y estabilidad para identificar materiales superiores a ser recomendados para su adopción.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en el marco de la red nacional de investigación en trigo del INIAF durante las campañas agrícolas 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014 y en algunos departamentos incluido ciclos de invierno principalmente para incremento de semilla de mejorador.

Originalmente, las líneas fueron desarrolladas en el Programa de Mejoramiento Genético del CIMMyT, que comprendió el proceso de hibridación (F1), mismos que posteriormente fueron valorados en base a criterios y prioridades como ser: Alto potencial de rendimiento, tolerancia a enfermedades, eficiencia en el uso del agua, tolerancia a factores abióticos adversos y adecuada calidad.

Tabla 1. Genotipos introducidos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo en la gestión 2011, evaluados en diferentes localidades del área triguera tradicional de Bolivia.

Nro	Cruzas	Lineas /
1	Tepoca T89	Testigo
2	DHARWAR DRY	302
3	VOROBAY	303
4	W15.92/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1	304
5	POTCH 93/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/5/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	305
6	ACHTAR*3//KANZ/KS85-8-5/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/5/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	306
7	QG 4.37A/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/5/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	307
8	NSM*4/14-2//FRTL/2*PIFED/3/VORB	308
9	BABAX/LR42//BABAX/3/BABAX/LR42//BABAX/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/5/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	309
10	BABAX/LR42//BABAX/3/BABAX/LR42//BABAX/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/5/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	310
11	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/ONIX	311
12	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/ONIX	312
13	ONIX/ROLF07	313
14	ONIX/ROLF07	314
15	ONIX/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	315
16	ACHTAR/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	316
17	CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/6/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	317
18	CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/6/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	318
19	CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/6/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	319
20	CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/6/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	320
21	MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/4/ATTILA/BAV92//PASTOR/5/CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92	321
22	SOKOLL*2/TROST	322
23	SOKOLL*2/TROST	323
24	SOKOLL//PBW343*2/KUKUNA/3/ATTILA/PASTOR	324
25	SOKOLL*2/ROLF07	325
26	GK ARON/AG SECO 7846//2180/4/2*MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	326
27	GK ARON/AG SECO 7846//2180/4/2*MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	327
28	GK ARON/AG SECO 7846//2180/4/2*MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	328
29	SW89-5124*2/FASAN/3/ALTAR 84/AE.SQ//2*OPATA	329
30	SOKOLL/ROLF07	330

Nro	Cruzas	Líneas /
31	SOKOLL//FRTL/2*PIFED	331
32	SOKOLL//FRTL/2*PIFED	332
33	BAV92/SERI	333
34	ROLF07/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	334
35	ROLF07/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	335
36	MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/4/WBLL1*2/KUKUNA	336
37	ATTILA/BAV92//PASTOR/3/ATTILA*2/PBW65	337
38	CUNNINGHAM/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ	338
39	ESDA/KKTS	339
40	GOUBARA-1/2*SOKOLL	340
41	SOKOLL*2/3/PASTOR//MUNIA/ALTAR 84	341
42	SOKOLL*2/3/PASTOR//MUNIA/ALTAR 84	342
43	SOKOLL*2/4/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//FCT/3/STAR	343
44	SOKOLL*2/4/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//FCT/3/STAR	344
45	BOW/VEE/5/ND/VG9144//KAL/BB/3/YACO/4/CHIL/6/CASKOR/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/7/PASTOR//MILAN/KAUZ/3/BAV92	345
46	BOW/VEE/5/ND/VG9144//KAL/BB/3/YACO/4/CHIL/6/CASKOR/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/7/PASTOR//MILAN/KAUZ/3/BAV92	346
47	BOW/VEE/5/ND/VG9144//KAL/BB/3/YACO/4/CHIL/6/CASKOR/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/7/PASTOR//MILAN/KAUZ/3/BAV92	347
48	GONDO//WBLL1*2/TUKURU/4/GONDO//SHA5/WEAVER/3/PASTOR	348
49	PASTOR*2/BAV92/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ	349
50	PASTOR*2/BAV92/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ	350

Las 50 líneas arriba detalladas fueron introducidas por su aptitud para zonas semiáridas (precipitación menor a 400 mm año⁻¹), constituyendo material con un grado de homocigosidad avanzado y de alto potencial productivo. La población arriba mencionada fue una de las primeras introducciones realizada por el PN-TRIGO y estudiada a lo largo de cuatro años en múltiples localidades en los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, Tarija, Potosí y eventualmente Santa Cruz.

En la campaña agrícola 2011-2012, la población fue establecida en dos localidades: Montenegro en el municipio de Sipe Sipe, Provincia Quillacollo del departamento de Cochabamba y

en San Pedro del municipio del mismo nombre, provincia Obispo Santistevan del departamento de Santa Cruz. El material fue establecido en base a la estructura de un diseño alpha-lattice con dos repeticiones y con el propósito de contar con la información completa de sus aptitudes se cuantificó y cualificó un total de treinta variables.

Con el material incrementado y con la finalidad de realizar una apropiada explotación de la variabilidad genética, en la campaña agrícola 2012-2013, se emprendió ensayos del material arriba mencionado en múltiples localidades con énfasis en el área tradicional como se verifica en la tabla siguiente:

Tabla 2. Localidades, municipio, provincia y departamentos en los que fueron establecidos los ensayos durante la campaña agrícola 2012-2013.

Departamento	Provincia	Municipio	Localidad
Cochabamba	Carrasco	Pocona	Yuraj Molino
	Carrasco	Totora	Rodeo Grande
	Esteban Arce	Tarata	Tarata
Santa Cruz	Florida	Quirusillas	Quirusillas
Potosí	Alonso de Ibañez	Caripuyo	Caripuyo
	José María Linares	Ckochas	Rumi Wiñaska
Chuquisaca	Zudañez	Zudañez	Zudañez
	Yamparaez	Yamparaez	Sirichaca
	Tomina	Villa Alcalá	Alcalá
Tarija	Cercado	Tarija	Yesera norte
La Paz	Bautista Saavedra	Charazani	Charazani
Oruro	Cercado	Caracollo	Condoriri

Por los progenitores involucrados y la variabilidad existente en la población, se logró identificar un número significativamente alto de líneas promisorias a través de la evaluación de los índices de estabilidad de las variables de interés, habiéndose

alcanzado una presión de selección del 30%, el material identificado por los propósitos señalados son los que se indica en la tabla siguiente:

Tabla 3. Genotipos éliteseleccionados de la primera (2011-2012) y segunda (2012-2013) campaña a ser sometido a ensayos regionales.

Nro.	Cruzas	Líneas
1	Tepoca T89	Variedad (Testigo)
2	PASTOR*2/BAV92/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ	349
3	ONIX/ROLF07	313
4	ROLF07/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	335
5	ATTILA/BAV92//PASTOR/3/ATTILA*2/PBW65	337
6	NSM*4/14-2//FRTL/2*PIFED/3/VORB	308
7	ESDA/KKTS	339
8	SOKOLL*2/ROLF07	325
9	SOKOLL*2/TROST	323
10	SOKOLL/ROLF07	330
11	ROLF07/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	334
12	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/ONIX	311
13	SOKOLL//FRTL/2*PIFED	332
14	BAV92/SERI	333
15	SOKOLL//FRTL/2*PIFED	331

La población de líneas elite identificada fue sometida a ensayos regionales durante la campaña agrícola 2013-2014, bajo la

estructura de un diseño de bloque completo al azar con 3 repeticiones en las localidades que se indica a continuación:

Tabla 4. Localidades, municipios, provincias y departamentos en los que fueron establecidos los ensayos durante la campaña agrícola 2013-2014.

Departamento	Provincia	Municipio	Localidad
Cochabamba	Carrasco	Pocona	Pocona
	Carrasco	Pocona	Cruce Incallajta
	Carrasco	Totora	Uyaxtipunta 1
	Carrasco	Totora	Chullpa Chullpa bajo
Santa Cruz	Florida	Quirusillas	Quirusillas
	Manuel María Caballero	Comarapa	Comarapa
Potosí	Sud Lipez	San Pablo de Lipez	Esmeralda alta 2
	José María Linares	Ckochas	Rumi Wiñaska
Chuquisaca	Yamparaez	Yamparaez	Pampas
	Zudañez	Zudañez	Zudañez
	Zudañez	Mojocoya	Trigo Loma
	Nor Cinti	Incahuasi	Jolencia
Tarija	Eustaquio Méndez	San Lorenzo	Carachimayo
	Eustaquio Méndez	Eustaquio Méndez	Coimata
	Gran Chaco	Yacuiba	Campo Núñez
La Paz	Los Andes	Laja	Kallutaca
	Bautista Saavedra	Charazani	Charazani
Oruro	Cercado	Caracollo	Condoriri

Análisis de varianza: Con la información obtenida para cada variable considerada en el estudio se procedió con los análisis estadísticos correspondientes. Se realizó la identificación de datos fuera de contexto, se continuó con los respectivos resúmenes y análisis de varianza para cada localidad en función al modelo establecido. Para los ensayos de la primera campaña se realizó el análisis de varianza en base al modelo de alpha látice. Para explicar el comportamiento de cualquier genotipo en los diferentes ambientes (localidades) se realizó el análisis de varianza combinado para las diferentes variables agronómicas consideradas en el estudio.

Análisis de estabilidad: Para el análisis de estabilidad fenotípica se utilizaron los métodos propuestos por Eberhart y Russell, 1966 y el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa, Crossa, 1996.

Modelo de Eberhart y Russell: Se basa en análisis de regresión lineal simple. El coeficiente de regresión lineal (β_i) es utilizado como respuesta del comportamiento de cada genotipo

en los diferentes ambientes y la estabilidad de cada genotipo es evaluada a través de varianza de los desvíos de regresión (δ_{ij}). El modelo responde a la siguiente ecuación:

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

Donde:

Y_{ij} = promedio del i-esimo genotipo en el j-esimo ambiente.

μ_i = promedio del i-esimo genotipo en todos los ambientes.

β_i = coeficiente de regresión que mide la respuesta del i-esimo genotipo a la variación ambiental.

I_j = índice ambiental.

δ_{ij} = desvío de la regresión del i-esimo genotipo en el j-esimo ambiente.

ϵ_{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: $I_j = Y_{.j} - Y_{..}$

El análisis 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 varios años en cada localidad mediante el modelo lineal / bilineal AMMI. El modelo AMMI está representado por la ecuación siguiente:

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

Donde es Y_{ij} representa la media del i-esimo cultivar en el j-esimo ambientes definido como una combinación única del sistema x año, μ es la media general, G_i y E_j son los efectos principales atribuidos al genotipo (cultivar) y ambiente sistema año, λ_n es el valor singular del n-esimo eje del Componente Principal, γ_{in} y δ_{jn} representan las puntuaciones para el i-esimo cultivar y el j-esimo medio ambiente en el n-esimo eje del componente principal y ε_{ij} es el error experimental agrupado.

El análisis combinó 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. Se adoptó el programa SAS de Burgueño *et al.* (2003) para generar las puntuaciones de los entornos de sistema de año y genotipos para los dos primeros términos bilineales ($n = 2$). El análisis AMMI fue importante para la identificación de grupos de ambientes de igual respuesta, ambientes que permiten mejor discriminación del potencial genético entre genotipos y ambientes correlacionados negativamente.

Entre las principales variables de respuesta evaluadas se tiene: características agromorfológicas (días a emergencia, porte de

la planta, precocidad, altura de la planta, posición de la espiga, densidad de la espiga, color de la espiga, color de grano, longitud de arista); tolerancia a factores adversos bióticos (roya, septoria, piricularia, helmintosporium); tolerancia a factores adversos abióticos (tolerancia a sequía, reacción al acame, reacción al desgrane); componentes de productividad (número de macollos, número de espigas/m², longitud de espiga, número de granos/espiga, tipo de grano, tamaño de grano, peso de mil granos, rendimiento) y componente de calidad (peso hectolítrico).

Resultados y discusión

Resumen descriptivo de variables: La respuesta promedio de la población de líneas en las distintas localidades se describe en la tabla siguiente. En ella se verifica características agromorfológicas interesantes asociadas a la población en estudio. Se distingue atributos como la precocidad con rangos muy significativos que hacen prever desenlaces muy promisorios en cuanto a la identificación de cultivares para los desafíos del Programa. En la misma línea, se aprecia características agromorfológicas transgresivas que permiten avizorar respuestas optimistas en los procesos de selección. Respecto a la tolerancia a factores adversos, se pudo evidenciar alta variabilidad entre líneas, evidenciándose la posibilidad de generar un buen avance genético con respecto a la selección de líneas tolerantes, destacándose material con muy buena respuesta con relación a piricularia y roya principalmente. La tolerancia al desgrane mostró fenotípicamente variaciones diametralmente opuestas, encontrándose líneas con alta tolerancia al desgrane temprano y otras muy susceptibles. El comportamiento del material estuvo en línea con la aptitud inicialmente descrita (adaptación a zonas semiáridas).

Tabla 5. Estadística descriptiva de características cualitativas y cuantitativas de líneas avanzadas de trigo harinero del vivero 19 SAWYT introducidas del CIMMYT, evaluadas en 15 localidades de Bolivia, durante la campaña agrícola 2011-2013.

Variab	Rango	Mínimo	Máximo	Media	D.E.
Características Agromorfológicas					
Días a emergencia	5,0	4,0	8,0	4,0	1,6
Porte de la planta ^e	3,0	2,0	5,0	4,9	0,4
Precocidad ^e	4,0	1,0	5,0	3,2	1,2
Altura de planta (cm)	89,0	23,0	112,0	70,0	14,2
Posición de espiga ^a	4,0	1,0	5,0	3,1	1,9
Densidad de espiga ^a	4,0	1,0	5,0	3,5	0,8
Color de espiga ^a	4,0	1,0	5,0	1,6	1,1
Color de grano ^a	3,0	2,0	5,0	4,7	0,8
Longitud de arista (mm)	14,0	3,0	17,0	6,9	1,3
Tolerancia a factores adversos bióticos					
Roya ^g	2,0	3,0	5,0	4,6	0,5
Septoria ^g	3,0	2,0	5,0	4,1	0,6
Piricularia ^g	4,0	1,0	5,0	4,3	0,8

Variables	Rango	Mínimo	Máximo	Media	D.E.
Helmintosporium [§]	4,0	1,0	5,0	4,1	0,8
Tolerancia a factores adversos abióticos					
Tolerancia a sequía [¶]	4,0	1,0	5,0	4,0	1,0
Reacción al acame [¶]	4,0	1,0	5,0	4,7	0,6
Reacción al desgrane [¶]	3,0	2,0	5,0	4,7	0,6
Componentes de productividad					
Número de macollos	4,3	1,0	5,3	3,4	0,8
Número de espigas*m ⁻²	262,0	8,0	270,0	116,1	67,1
Longitud de espiga (cm)	11,5	2,2	13,7	8,3	1,6
Número de granos*espiga ¹	66,0	12,0	78,0	52,4	9,3
Tipo de grano [¶]	4,0	1,0	5,0	3,2	1,3
Tamaño de grano [¶]	4,0	1,0	5,0	2,5	1,3
Peso de mil granos (g)	39,0	19,0	58,0	37,2	8,6
Rendimiento (kg*ha ⁻¹)	5337,0	1,0	5338,0	1408,9	966,3
Componentes de calidad					
Peso hectolítrico	49,0	40,0	89,0	72,3	8,9

[§]1 = Muy decumbente; 2 = decumbente; 3 = semi decumbente; 4 = semierecto; 5 = erecto

[¶]1= Muy Tardío; 2 = Tardío; 3 = Intermedio; 4 = Precoz; 5 = Muy Precoz

[¶]1 = Recto; 5 = Curvado

[¶]1 = Muy Laxa; 2 = Laxa; 3 = moderadamente compacta; 4 = Compacta; 5 = Muy compacta

[¶]1 = Púrpura (morado) a negro; 3=rojo a café; 5=blanco

[¶]1 = Púrpura (morado); 3=rojo; 5=blanco

[¶]1 = Muy Susceptible; 2 = susceptible; 3 = moderadamente tolerante; 4 = tolerante; 5 = muy tolerante

[¶]1 = Muy Susceptible; 2 = susceptible; 3 = moderadamente tolerante; 4 = tolerante; 5 = muy tolerante

[¶]1 = Muy chupado; 2 = chupado; 3 = casi lleno; 4 = lleno; 5 = Muy lleno

[¶]1 = Grano pequeño (< 6 mm); 3 = grano mediano (6 – 7 mm); 5 = grano grande (> 7 mm)

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

Análisis de Componentes Principales: Con el propósito de transformar variables altamente correlacionadas en componentes principales no correlacionados, la descomposición de los dos primeros componentes principales alcanzo a explicar el 34% de la variabilidad en el estudio. La representación gráfica de componen-

tes principales de la figura siguiente sintetiza el comportamiento de las diferentes líneas con relación a las variables cuantificadas y cualificadas en el estudio. Como la recomiendan, la lectura se realizó considerando la magnitud del vector, la dirección de los mismos y el ángulo que forman entre sí. De la representación gráfica se logra inferir la presencia de varios grupos de variables, entre ellas las de componentes de rendimiento, tolerancia a factores adversos, características de calidad entre otros. La magnitud de los vectores para las variables se encuentra en correspondencia con la proporción de la información de los componentes identificados. De la representación de variables y cultivares se logró identificar el nivel de correlación, por ejemplo rendimiento, entre ellos número de espigas por metro, con líneas que muestran tolerancia a la sequía, tamaño de grano, peso de mil granos, tipo de grano y peso hectolítrico. En esta asociación descrita, se destaca la ubicación de las líneas L-330, L-331, L-337, L-339 y L-303. Así mismo líneas como L-323, L- 322, L-315 y L-341 que destacan como tolerantes a enfermedades de Piricularia, Roya y Septoria respectivamente

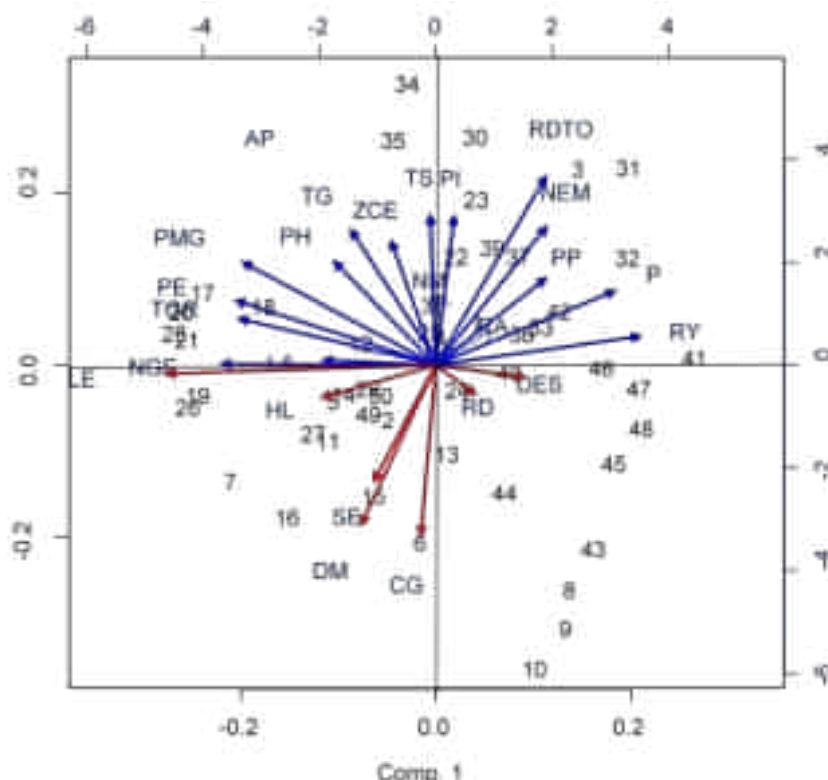


Figura 1. Análisis Biplot de la caracterización de las líneas avanzadas de trigo harinero del vivero 19 SAWYT, introducidas del CIMMYT; evaluadas en 13 localidades de Bolivia, durante la campaña agrícola 2011-2013. Las características evaluadas fueron: altura de planta (AP), tamaño de grano (TG), color de espiga (CE), tolerancia a la sequía (TS), número de macollos (NM), tolerancia a la piricularia (PI), rendimiento (RDTO), número de espigas por metro cuadrado (NEM), porte de la planta (PP), reacción al acame (RA), precocidad (P), tolerancia a la roya (RY), densidad de espiga (DES), días a la emergencia (DE), reacción al desgrane (RD), color de grano (CG), días a la madurez (DM), tolerancia a la septoria (SE), tolerancia a helmintosporium (HL), longitud de espiga (LE), número de grano por espiga (NGE), longitud de la arista (LA), tipo de grano (TGR), posición de la espiga (PE), peso de mil granos (PMG) y peso hectolítrico (PH)

Análisis de Varianza para Rendimiento: en la tabla 6 se presenta el análisis de varianza combinado a través de localidades para la variable rendimiento de grano ($t \cdot ha^{-1}$), en este análisis se observa diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre localidades, genotipos, localidades $\times$ genotipos. Similar respuesta es identificada para el 90% de las variables consideradas en el estudio (resultados no incluidos en este sector). El factor de

variación de localidades por genotipos (interacción) explica el grado diferencial en el comportamiento de los genotipos en las distintas localidades, verificándose una respuesta a la especificidad en términos de adaptabilidad a las condiciones ambientales y de factores de producción que ameritan un análisis más detallado a través de metodologías diseñadas para el efecto, a las que se apela más adelante.

Tabla 6. Análisis combinado para variable rendimiento en grano (kg*ha⁻¹) para 50 líneas de trigo harinero evaluados en 12 localidades durante las campañas agrícolas 2012 a 2014.

Fuentes de Variación	2011-2012			2012-2013		
	GL	CM		GL	CM	
Localidad	1	45319059.1	**	9	56231051.0	**
Rep (Loc)	2	38475.8	ns	10	3002919.5	**
Bloq (Loc*Rep)	16	453348.2	**	80	138843.7	*
Genotipo	49	257311.6	ns	49	328875.2	**
Loc*Gen	49	249108.1	ns	441	160949.6	**
Error	82	203476.1		408	105624.9	
CV		17,6			25,1	
R ²		0,82			0,94	

Loc*Gen=Localidad por genotipo; Rep(Loc)=repeticiones anidadas en localidades; Bloq(Rep×loc)= bloques anidados en repeticiones por localidades; CV=coeficiente de variación.

* Significancia estadística al 5% de probabilidad

** Significancia estadística al 1% de probabilidad

ns No significancia estadística

Análisis GGE Biplot para Rendimiento: En la línea de explorar alternativas de análisis para la identificación de las especificidades en el comportamiento a través del análisis GGE Biplot, se observa que las líneas 330, 303, 304, 305, 315, 313, 347 y 346 se constituyen en los genotipos vértices, que exhiben su alto potencial productivo y su capacidad de respuesta en los sectores identificados por las respectivas localidades. Del análisis tam-

bién se desprende genotipos que tiene adaptabilidad específica a determinados condiciones medioambientales como las líneas 341, 333, 334, 337, 331, 323, 346 forman un grupo bastante interesante representando a las zonas trigueras de producción entre ellos la localidad de Zudáñez, Pocona, Rodeo Grande, Pocona y Rumi Wiñaska.

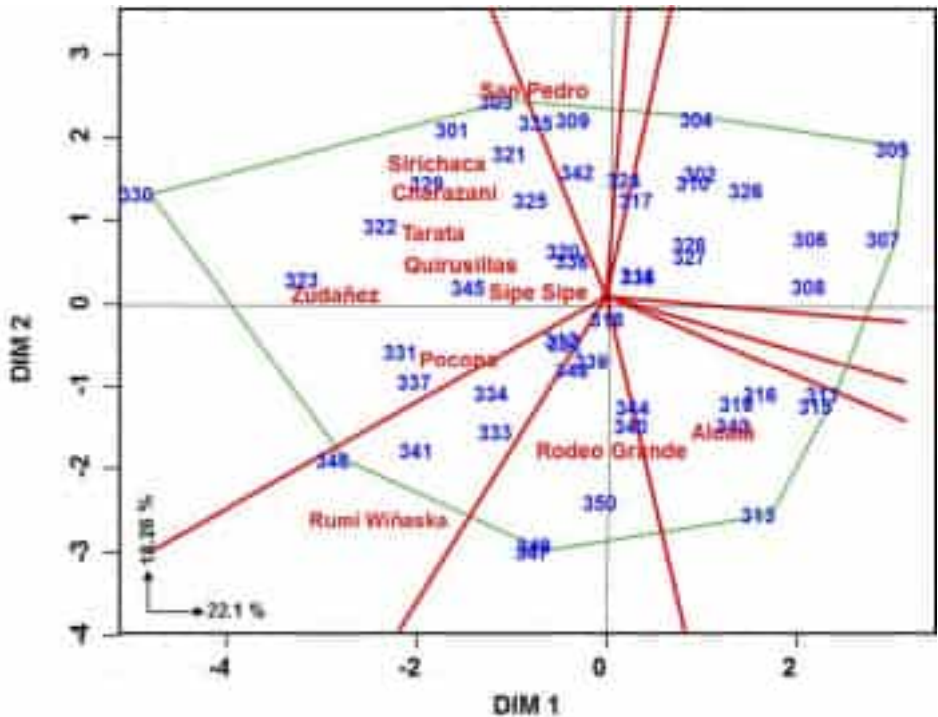


Figura 2. GGE Biplot basado en los datos de rendimiento resumiendo el comportamiento de quince líneas élite de trigo harinero con relación a catorce localidades en la campaña agrícola 2013 a 2014.

Genotipo ideal: La recta que pasa por el origen del Biplot representa el ambiente promedio y se denomina eje de las abscisas, donde las líneas 346, 323 y 330 tienen rendimiento medio alto, sin embargo su estabilidad es baja debido a que estas se

alejan del eje denominado abscisas. Sin embargo las líneas 337, 331, 341 y 322 muestran rendimiento medio y alta estabilidad en las catorce localidades, por lo tanto aproximándose al eje del genotipo ideal.

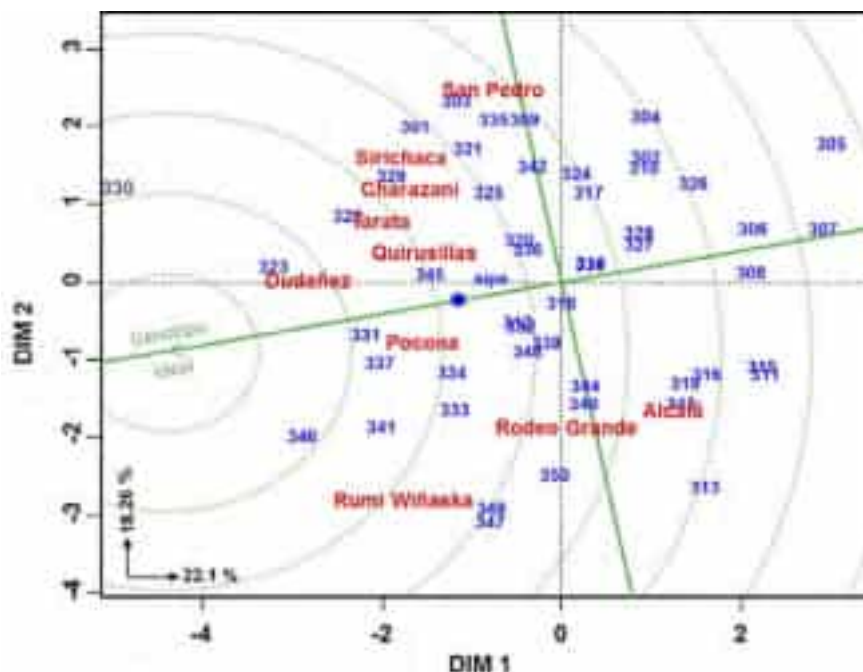


Figura 3. Gráfico Biplot de Rendimiento medio y estabilidad de las 15 líneas de líneas élite de trigo harinero con relación a catorce localidades en la campaña agrícola 2013 a 2014.

Productividad y Estabilidad del Rendimiento: la representación de rendimiento promedio ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de catorce líneas élite más un testigo en catorce localidades del área tradicional incluida algunas del altiplano durante la campaña agrícola 2013 a 2014 en la figura trellis, muestra la tendencia de comportamiento de la población en respuesta a los factores experimentales y la presión ambiental de las mismas. La respuesta obtenida en cada una de ellas refleja los factores de producción imperantes en las

mismas. Las características de un centro experimental se reflejan en Sipe Sipe con los promedios más altos, reflejando el potencial productivo de las diferentes líneas élite bajo condiciones óptimas. La productividad de las líneas que se refleja en la localidad de Cruce Incallajta representa condiciones de fertilidad apropiada pero en predios de agricultor en un año típico de disponibilidad de condiciones ambientales de un sistema de producción a secano.



Figura 4. Panel Trellis para el rendimiento promedio ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de catorce líneas élite de trigo harinero evaluadas en catorce localidades

durante la campaña agrícola 2013 a 2014.

Localidades del área tradicional con rendimientos promedios de entre 2 a 3 t. representan al promedio de las condiciones de los productores trigueros (condiciones físicas y ambientales predominantes) para los que la genética pretende incorporar el efecto de la genética del material. En el otro extremo se encuentran localidades como las del norte del Departamento de La Paz (Charazani) donde definitivamente las condiciones físicas y las condiciones ambientales estuvieron muy por debajo de lo óptimo,

incorporándose desafíos relacionados al manejo bajo un sistema de labranza mínima y otros que incidieron en el comportamiento.

La representación estandarizada del rendimiento de las catorce líneas de trigo harinero promediado sobre catorce localidades durante la campaña agrícola 2013-2014 identifica líneas como la 330, seguido de la 337 (INIAF-Totora 2014) como las de comportamiento más promisorio, reflejando las aptitudes genéticas bajo las condiciones de producción de las zonas trigueras representativas.

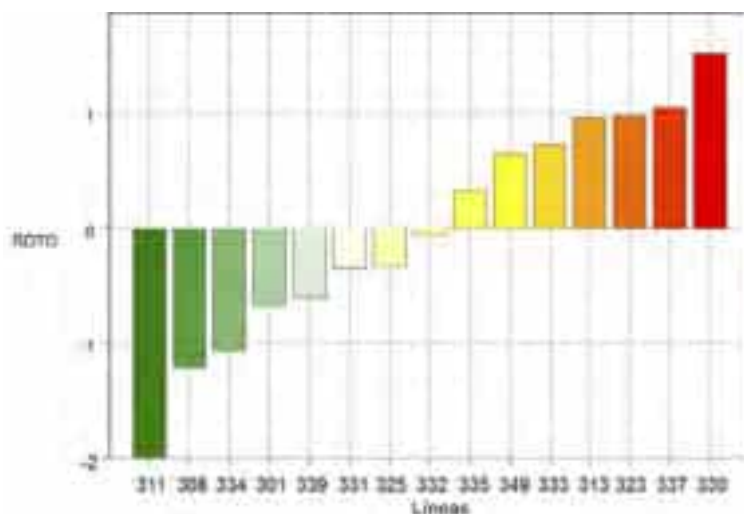


Figura 5. Rendimiento promedio estandarizado para quince líneas élite de trigo harinero evaluadas en catorce localidades durante la campaña agrícola 2013 a 2014.

El análisis de varianza combinado (tabla 7), presenta la probabilidades de “F” para las distintas fuentes de variación consideradas en el estudio. El efecto del genotipo no fue significativo por las características de la población (líneas élite seleccionadas por su máximo potencial productivo en el proceso de avance ge-

neracional). El efecto localidad resulto altamente significativo en términos de la expresión de productividad del material, siendo ésta el reflejo de las características muy distintivas de cada sistema además de la expresión de los factores de producción.

Tabla 7. Análisis de varianza combinado para el rendimiento de quince líneas élite de trigo harinero en catorce localidades durante la campaña agrícola 2013 a 2014.

Fuentes de Variación	GL	SC	CM	Fc	
Localidad	13	1631491822.7	125499370.98	104.68	**
Blq/Localidad	28	33569614.9	1198914.82	4.61	**
Líneas	14	4287910.0	306279.29	1.18	ns
GxA	182	66658920.9	366257.81	1.41	ns
Error	392	102041811.4	260310.74		
Total	629	1838050080.0			

* Sig. Estad. al 5% de probabilidad; ** Sig. Est. al 1% de probabilidad; ns No sig. Est.

Los parámetros de estabilidad estimados de acuerdo al modelo de Eberhart y Russell se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Rendimiento promedio (Kg*ha-1) y parámetros de estabilidad de quince líneas élite de trigo harinero evaluados en catorce localidades durante la campaña agrícola 2013-2014.

ID	GEN	Promedio	Coef. Reg.	DesvReg	OM
7	330	2107.9	1.10	45425.2	1
13	337	2067.2	1.13	18183.9	2
5	323	2061.2	0.98	-52079.6	3
4	313	2059.8	1.07	-34938.1	4
10	333	2039.6	1.01	7275.7	5
15	349	2032.9	0.8	147697.7	6
12	335	2006.1	0.83	20377.7	7
9	332	1973.1	1.02	-52587.4	8
6	325	1949.7	1.12	-14807.1	9
8	331	1948.8	0.95	54231.4	10
14	339	1926.5	1.04	-47909.5	11
1	301	1920.3	0.91	-2006.0	12
11	334	1886.4	0.86	-12960.5	13
2	308	1874.5	1.02	-30704.8	14
3	311	1806.9	1.13	54130.6	15

El estadístico del coeficiente de regresión es muy favorable (coeficiente de regresión cercano a 1.0) a las líneas 313, 333, 332 que según la figura 6 identifica a estas líneas como las de alta

productividad en ambientes limitados. Las estadísticas de estabilidad son también muy favorables para las líneas 337 y 330, pero en este caso con una productividad muy expectable.

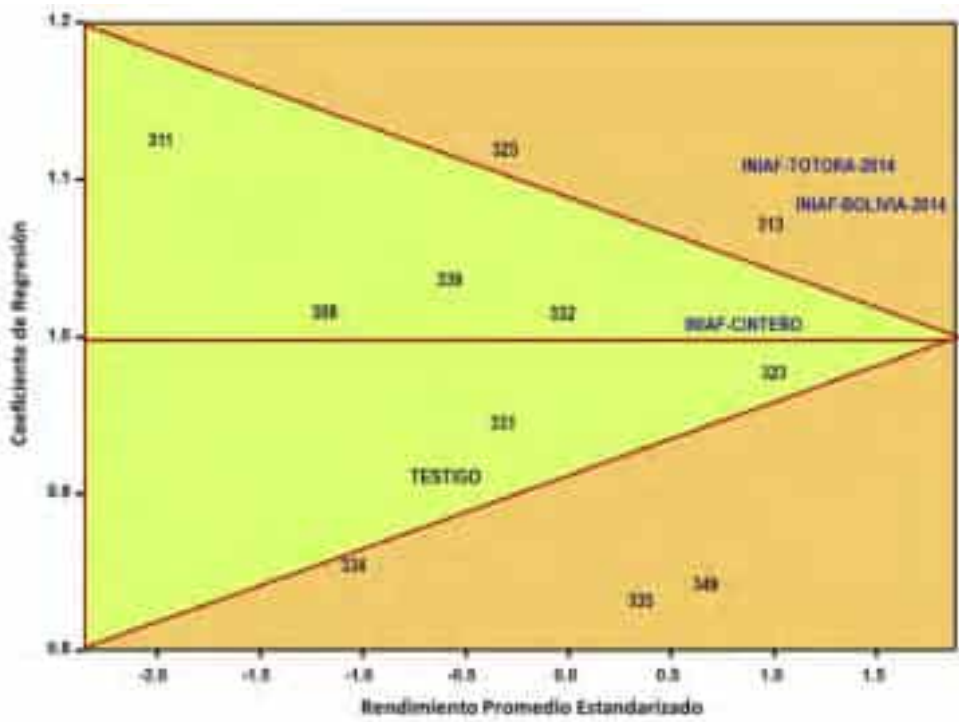


Figura 6. Coeficientes de regresión vs promedio de rendimiento estandarizado para quince líneas élite de trigo harinero evaluadas en catorce localidades durante la campaña agrícola 2013 a 2014.

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

La transformación de las correlaciones con respecto a rendimiento entre líneas así como localidades es explicada en proporción a la variación total explicada, siendo que con esta metodología se explicó el 62% de la variabilidad en el estudio a través de los dos componentes identificados.

La interpretación de los resultados del análisis AMMI se facilita con la representación siguiente (Biplot), donde genotipos y ambientes son posicionados en un mismo espacio. El grado de relación entre ambientes, genotipos y genotipo-ambiente está aproximado por el coseno del ángulo formado entre los vectores que la representan, permitiendo identificar cultivares con comportamientos afines en el sector de localidades específicas. La magnitud de los vectores que identifican a las diferentes líneas y localidades muestra el nivel de su respuesta, identificándose a las localidades de Sipe Sipe, Zudañez, Cruce Incallajta y Kallutaca como muy distintivas e informativas.

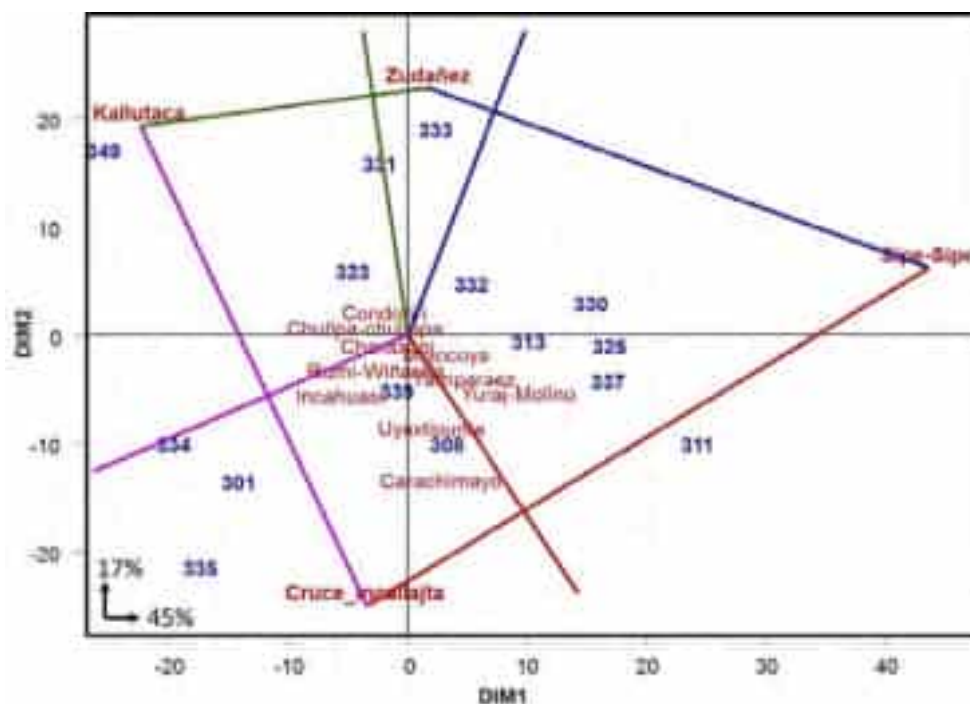


Figura 7. Componente Principal (CP), análisis aditivo de efectos principales y de interacción multiplicativa (AMMI) resumiendo el comportamiento de quince líneas élite de trigo harinero con relación a catorce localidades en la campaña agrícola 2013 a 2014.

El valor agregado del análisis se verifica en la posibilidad de identificar la especificidad en el comportamiento de las líneas con relación a los ambientes, en una suerte de explicación de “quien gana donde”, en esa línea, mencionar el comportamiento destacado de las líneas 333 y 331 en condiciones de la localidad de Zudañez. Genotipos con capacidad de maximización de su aptitud productiva se los identifica en el sector correspondiente a las localidades de Sipe Sipe y Cruce Incallajta. Localidades con limitada capacidad informativa se encuentran cercanas al punto de origen, con ángulos de relación bastante ambivalentes que reflejan su débil capacidad informativa.

Conclusión

Se identifica tres tipos de ambientes con alta capacidad de discriminación de Genotipos, conformada por condiciones de estación experimental, predio de agricultor con condiciones adecuadas de manejo y predio de agricultor con condiciones limitadas, donde las actividades de difusión sobre las ventajas de un adecuado manejo son primordiales.

Se alcanzó a identificar localidades con alta capacidad de discriminación de la interacción genotipo-ambiente, aspecto que permite hacer efectivo el proceso de identificación de materiales promisorios debido a que se tiene la posibilidad de racionalizar localidades con similares condiciones de presión ambiental.

Se identificó líneas élite con adaptabilidad y estabilidad específicas para ambientes con características distintivas en el marco del área triguera tradicional, líneas 333 y 331 con aptitud para zonas trigueras de la zona sur del país. Línea 337 con una adaptación importante para las localidades de valles del departamento de Cochabamba.

El comportamiento agronómico de las 14 líneas élite de trigo harinero en las distintas zonas trigueras del país constituye una muestra fehaciente de la posibilidad de estrechar el margen de diferencia que requiere acortar el país. El comportamiento de 60% de la población con índices productivos muy superiores con relación al cultivar popular con los productores permite avizorar ganancias genéticas muy importantes en pos de aportar con componentes tecnológicos que definitivamente elevaran los índices que en la actualidad imperan.

Referencias citadas

- Abderrahmane, H., Z. Abidine, F. Hamenna, B. Ammar. 2013. Correlation, path analysis and stepwise regression in durum wheat (*Triticum durum* desf.) under rainfed conditions. *Journal of Agriculture and Sustainability*. 3(2): 122-131.
- Allard R.W., and Bradshaw A.D. 1964. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4: 03-507.
- Crossa, J. 2012. From genotype $\times$ environment interaction to gene $\times$ environment interaction. *Current Genomics* 13: 225-244.
- Eberhart S.A., Russell W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6:36-40.
- Gauch, H.G., H.-P. Piepho, and P. Annicchiarico. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: further considerations. *Crop Sci.* 48: 866-889.
- Hussein, M.A., Bjornstad, A., and A.H. Aastveit. 2000. SASG X ESTAB: A SAS program for computing genotype $\times$ environment stability statistics. *Agron. J.* 92: 454-459. *Agron. J.* 92:454-459.
- INIAF, (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). 2012. Plan de implementación y avances en el programa nacional de trigo. La Paz-Bolivia. Programa Nacional de Trigo 40 p.
- Kang, M.S., M.G. Balzarini, and J.L.L. Guerra. 2004. Genotype-by-environment interaction. *In* (A.M. Saxton ed.) *Genetic Analysis of Complex Traits Using SAS*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Piepho, H.P., and J. Mohring. 2005. Best Linear unbiased prediction of cultivar effects for subdivided target regions. *Crop Sci.* 45: 1151-1159.
- Poysa V.W., Garton R., Courtney W.H., Metcalf J.G., Muehmer J. 1986. Genotype-environment interactions in processing tomatoes in Ontario. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(2): 293-297.
- Smith, A.B., B.R. Cullis, and R. Thompson. 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. *Journal of Agricultural Science* 143: 449-462.
- Yan, W., and J.B. Holland. 2010. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica* 171: 355-369.
- Yang, R.-C., J. Crossa, P.L. Cornelius, and J. Burgueño. 2009. Biplot analysis of genotype $\times$ environment interaction: proceed with caution. *Crop Sci.* 49: 1564-1576.

Caracterización de genotipos de trigo (*Triticum aestivum*) con resistencia a Piricularia durante el Verano 2014/2015 en Quirusillas, Santa Cruz, Bolivia

Diego Baldelomar, Sandro Cardenas y Karem Quispe
 Unidad de Investigación, Asociación de Productores de Oleaginosas y
 Trigo – ANAPO. Santa Cruz, Bolivia
 diegobaldelomar@hotmail.com

Resumen

La Explosión de la piricularia de trigo, causada por el patotipo *Triticum* de *Magnaporthe oryzae*, es una grave enfermedad que causan las bajas de rendimiento de trigo y pérdidas económicas significativas durante los años de epidemia en Brasil, Paraguay y Bolivia. Aunque los brotes ocurren sólo esporádicamente, piricularia de trigo es considerada una de las principales enfermedades que afectan la producción de trigo en América del Sur. El objetivo del presente estudio es caracterizar cultivares con reacción de resistencia a piricularia en trigo en porcentaje de incidencia de espigas blanquecinas, el estudio se estableció en la localidad de Quirusillas (valles meso térmicos del departamento de Santa Cruz) sitio endémico por la topografía cubierta de cerros y un microclima propicio para la manifestación del patógeno. De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene como resistentes a los cultivares (Sausal, San Pablo, Urubo, AN/TR-120, CIMMYT-50, USDA-8 y USDA-14), que estos tienen la resistencia genética de Milan portadores del segmento 2NS.

Introducción

Piricularia en trigo es considerado hoy una de las principales enfermedades que afectan la producción de trigo en Brasil (Urashima *et al.*, 2009). La importancia económica de esta enfermedad se deriva del hecho de que el hongo puede reducir el rendimiento y la calidad del grano de trigo (Goulart, 2005). Granos infectados de cultivares altamente susceptibles son generalmente pequeños, arrugados, deformes, y tienen bajo peso de hectolitrico (Goulart, 2005). Las mayores pérdidas de rendimiento se producen cuando las infecciones comienzan durante la floración o el grano formación (Goulart, 2005). Pérdidas de producción registrados en el Brasil en cultivares susceptibles varían de 10,5 hasta 100 % (Goulart *et al.*, 1992; Goulart y Paiva, 2000), así como a Bolivia (Barea y Toledo, 1996) y Paraguay (Viedma, 2005).

La infección puede ocurrir en las glumas, aristas y raquis, glumas infectados presentan lesiones elípticas con márgenes de color marrón rojizo a gris oscuro y centros blancos de color marrón claro. Aristas infectadas muestran marrón a la decoloración blancuzca, mientras infectado raquis, dependiendo del punto de infección, puede presentar una pérdida parcial o completa de la muerte de la espiga. En general, los síntomas pueden variar en las espigas de las lesiones elípticas con blanqueada centros a la espiga, blanqueo total o parcial, la esterilidad, y granos vacíos

dependiendo de la hora de infección (Igarashi *et al.*, 1986; Igarashi 1990).

Magnaporthe oryzae (Couch y Kohn, 2002) (anamorfo, *Pyricularia oryzae*) es un patógeno fungal con un alto grado de especificidad del hospedador (Couch *et al.*, 2005). Es el agente causal de la explosión la enfermedad en las plantas gramíneas, incluyendo el trigo (*Triticum aestivum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Valent y Chumley, 1991; Igarashi *et al.*, 1986; Lima y Minella, 2003). La etapa teleomorfo fue previamente conocido como *Magnaporthe grisea* (Agrios, 2005; Rossman *et al.*, 1990), y dos nombres de las especies se aplicaron a la etapa anamorfo: *Pyricularia oryzae* y *P. grisea* (Agrios, 2005; Couch y Kohn, 2002; Rossman, 1990). La enfermedad explosión fue reportada por primera vez en el trigo en 1986 en el norte de Paraná, estado de Brasil, donde ha causado graves daños de las siembras de trigo locales (Igarashi *et al.*, 1986). Hoy en día, es ampliamente aceptado que la estrecha familiaridad de la explosión hongo del trigo, especialmente recién surgido cepas de raygrás perenne (*Lolium perenne*) que causa la mancha gris, representan una amenaza creciente agrícola (Khang y Valent, 2010).

Materiales y métodos

Ubicación: El presente ensayo de investigación se realizó en la localidad de Quirusillas, ubicada a 166 kilómetros, en el

occidente del departamento de Santa Cruz cantón Quirusillas de la provincia florida, con un clima templado de 22.4 °C.

Material vegetal: Se utilizó como material de trabajo 35 Materiales de las cuales 16 son líneas de ANAPO, y 19 variedades comerciales.

Tabla 1. Material vegetal utilizado en el “ensayo de caracterización de materiales trigo, Quirusillas, Santa Cruz, Bolivia. Verano 2014/2015”.

N°	Cultivares	Semillera	N°	Cultivares	Semillera	N°	Cultivares	Semillera
1	ACHIRA	CIAT	13	BIBOSI	CIAT	25	ROBLE	HDS
2	AN-1013	ANAPO	14	BR-18	CIAT	26	SAN MARCOS	SEMEXA
3	AN-1016	ANAPO	15	CHANE	CIAT	27	SAN MATEO	SEMEXA
4	AN-120	ANAPO	16	CM-107	CIMMYT	28	SAN PABLO	SEMEXA
5	AN-258	ANAPO	17	CM-112	CIMMYT	29	SAN PEDRO	SEMEXA
6	AN-910	ANAPO	18	CM-124	CIMMYT	30	SAUSAL	CIAT
7	AN-914	ANAPO	19	CM-150	CIMMYT	31	TAJIBO	HDS
8	AN-915	ANAPO	20	CM-93	CIMMYT	32	TARABUCO	PROINPA
9	AN-916	ANAPO	21	CM-98	CIMMYT	33	URUBO	CIAT
10	AN-918	ANAPO	22	LIMABAMBA	PROINPA	34	USDA 14	USDA, USA
11	AN-920	ANAPO	23	MOTACU	CIAT	35	USDA 8	USDA, USA
12	AREX	DON MARIO	24	PARAGUA	CIAT			

Tamaño de parcelas: Cada unidad experimental está conformado por 2 surcos por 1.5 metros de longitud.

Características morfológicas: Días a madurez: Las evaluaciones para esta variable se realizaron por separado para cada unidad experimental, contabilizando los días a partir de la emergencia, hasta que el 51% de las plantas presenten punto de madurez fisiológica (R8) espigas en cualquier parte de la planta en color característico de la madurez. Forma de espiga: Se realizó al momento de la cosecha, se observó de forma visual las

espigas de cada material en estudio. Reacción a enfermedades: Para evaluar los niveles de resistencia de los genotipos a las enfermedades se establecen parcelas sin control y evaluaciones de incidencia (1-100%) por unidad experimental.

Resultados y discusión

Los datos de precipitación obtenida durante el ciclo del cultivo son mostrados en la Figura 1, los cuales tuvieron los siguientes datos por cada mes.

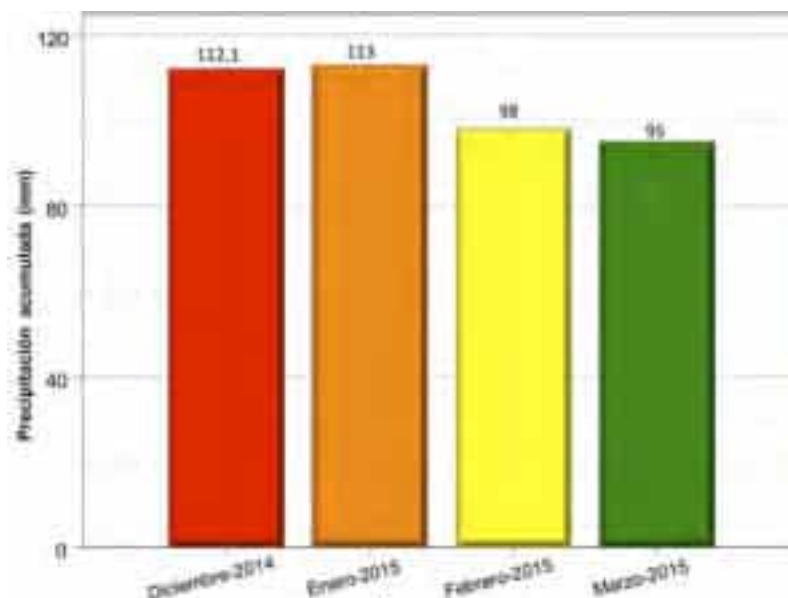


Figura 1. Precipitaciones registradas durante el ensayo, Quirusillas, Santa Cruz, Bolivia. Verano 2014/2015.

De acuerdo al registro de las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo son las siguientes: Podemos observar que la cantidad de lluvia acumulada durante el ciclo del cultivo de trigo fue de 418,1 mm. Fue superior al requerimiento de agua requerida por el cultivo, los requerimientos del cultivo son de 300 a 400 mm durante el ciclo del cultivo. En la etapa del llenado de granos a pesar que fue inferior a los meses anteriores, en febrero fue de 98 mm de precipitación durante la etapa de formación de granos la disponibilidad de humedad fue muy buena con buena distribución de precipitación. Y de la misma forma fue ideal para ver la incidencia de las enfermedades para el cultivo, debido a las buenas precipitaciones acumuladas. En la etapa de maduración se registró lluvias que fue superior a los requerimientos del cultivo en la localidad de Quirusillas. Las precipitaciones fueron de 95 mm durante el mes de Marzo donde dificultó el secado de las plantas y la cosecha.

Características agronómicas.

Días a maduración: Durante el ensayo de caracterización de materiales de trigo podemos ver que existen materiales de ciclo intermedio a precoz donde los materiales Limabamba con 101 días ya madurez y CMT con 100 días a madurez fisiológica o R8, estos materiales son considerados los más tardíos durante el ensayo, luego tenemos a los materiales con ciclo intermedio durante el ensayo que son: Bibosi con 99 días, Sausal con 98 días, Paragua con 97 días, Tajibo con 96 días, CMT-50 con 96 días, Urubo, San Pablo con 95 días y Achira, AN-916, AN-918 con 94 días a madurez fisiológica y también tenemos a los materiales BR-18, San Marcos con 93 días a madurez fisiológica, los materiales Motacú y AN-920 con 92 días a madurez fisiológica y los materiales más precoz del ensayo USDA-14, AN-120 y USDA -8 con 89 y 86 días a madurez fisiológica siendo considerados como materiales precoz durante el ensayo de caracterización. Ver (Tabla 2.)

Tabla 2. Días a maduración, en el “ensayo de caracterización de materiales trigo, Quirusillas, Santa Cruz, Bolivia. Verano 2014/2015”.

Cultivares	Madurez fisiológica	Inclinación de espiga	% de inc. Piricularia	% de inc. Hemiltosporiosis
ACHIRA	94	ERecto	90	40
AN-1013	93	ERecto	35	20
AN-1016	91	CURVA	35	30
AN-120	89	CURVA	15	20
AN-258	91	ERecto	100	60
AN-910	93	ERecto	90	50
AN-914	93	ERecto	80	40
AN-915	91	ERecto	70	30
AN-916	94	ERecto	100	60

Cultivares	Madurez fisiológica	Inclinación de espiga	% de inc. Piricularia	% de inc. Helmitosporiosis
AN-918	94	ERECTO	25	70
AN-920	92	ERECTO-CURVA	100	60
AREX	91	CURVA	100	80
BIBOSI	99	CURVA	85	60
BR-18	93	CURVA	75	60
CHANE	99	ERECTO-CURVA	100	80
CM-107	100	CURVA	95	50
CM-112	93	ERECTO	45	20
CM-124	97	CURVA	100	90
CM-150	96	CURVA	10	15
CM-93	93	ERECTO-CURVA	50	50
CM-98	96	CURVA	65	80
LIMABAMBA	101	CURVA	100	100
MOTACU	92	ERECTO	40	10
PARAGUA	97	ERECTO	95	70
ROBLE	95	CURVA	60	85
SAN MARCOS	93	CURVA	100	90
SAN MATEO	95	CURVA	100	70
SAN PABLO	95	ERECTO-CURVA	30	15
SAN PEDRO	91	CURVA	95	85
SAUSAL	98	ERECTO	15	10
TAJIBO	96	CURVA	100	80
TARABUCO	93	CURVA	100	100
URUBO	95	ERECTO-CURVA	15	10
USDA 14	89	ERECTO-CURVA	15	10
USDA 8	86	CURVA	10	35

Forma de espiga: En las evaluaciones que se realizaron para la forma de espiga muestra que el 48.57 % de los materiales en estudio son considerados con espigas curvas al momento de la cosecha, y las materiales son Roble, Bibosi, USDA-8 y CMT-124 con estas características en la espiga. Luego tenemos materiales con espigas erectas haciendo un total de 34.28 % de todo el ensayos y los materiales son Motacú, Achira Sausal hasta Paragua haciendo un total de 12 materiales estudiados. Finalmente tenemos materiales con espigas de forma Erecta-Curva haciendo un total de 6 materiales de trigo haciendo un 17.14 % de todo el ensayo de trigo.

Reacción a enfermedades: Incidencia a Piricularia. (*Pyricularia grisea*). Con los datos de las evaluaciones realizadas podemos ver los resultados en el cuadro 5. Donde los materiales Susceptibles (Valores de 76-100% de incidencia=Susceptible). Los materiales considerados como susceptibles son: AN-16, AN-920, AN-258, Tajibo, Tarabuco Arex, Chane y San Marcos con valores de 100 % de incidencia en el ensayo que se realizó, luego tenemos a los materiales Paragua, San Pedro y CM-124 con 95 % de incidencia, Achira y AN-910 con 90 % de incidencia y BR-18 con 75 % de incidencia, todos los materiales mencionado son considerados como materiales susceptibles durante este ensayo

realizado. Los materiales AN-915 con 70 %, Roble con 60 % son materiales considerados como materiales moderadamente susceptibles, (41-75 %), donde si han sido afectados por la enfermedad Piricularia. Los materiales considerados como (Moderadamente resistente=11-40 %), los materiales son: Motacú con 40%, San Pablo con 30 % Urubo, USDA 14, Sausal y AN-120 con 15 % de incidencia en la evaluación realiza en espiga donde son considerados como materiales moderadamente Resistente a la Piricularia del trigo en espiga. Finalmente tenemos a los materiales Resistentes (1-10 %), son los materiales: USDA 8 y CMT-50 con valores de 10 % de incidencia en la espiga siendo los mejores en cuanto a resistencia a la piricularia del trigo.

Incendencia a Helmitosporiosis. (*Helminthosporium tritici*). Con los datos de las evaluaciones realizadas podemos ver los resultados en el cuadro 6. Los materiales susceptibles, (76-100%), Los materiales considerados como susceptibles a helmitosporiosis son: Limabamba, Tarabuco, con valores de 100 % de incidencia en el ensayo que se realizó, podemos ver que existió un daño del 100 % de las plantas dañadas, también tenemos a los materiales San Marcos, AN-124 con 90 % de incidencia y Tajibo, Arex Chane y CMT-98 con 80 % de incidencia, todos

los materiales mencionado son considerados como materiales susceptibles durante este ensayo realizado. Los materiales AN-918, San Mateo y Paragua con 70 %, Bibosi, an-920, AN-258, y BR-18 con valores de 60 % de incidencia hasta AN-910, CMT-107, con 50 % de incidencia por lo tanto son considerados como materiales moderadamente susceptibles, (41-75 %), donde si han sido afectados por la enfermedad Helmitosporiosis.

Conclusiones

Los tardíos son Limabamba con 101 días y CMT-107 con 100 días. Bibosi, Sausal, Paragua, Tajibo, CMT-50, Urubo, San Pablo, considerados como intermedios, y los materiales de ciclo precoz son USDA-14, AN-120 y USDA -8 con 89 y 86 días a madurez fisiológica.

En cuanto a forma de espigas tenemos materiales que tienen la forma de curva que representan un 48.57 % del ensayo, los materiales que presentan espigas de forma erecta en un 34.28 % del ensayo y finalmente tenemos a los materiales que presentan una característica intermedia que es Erecto-Curvo, donde representa un 17.14 % de los materiales en estudio.

Los materiales considerados como susceptibles son: AN-16, AN-920, AN-258, Tajibo, Tarabuco Arex, Chane y San Marcos con valores de 100%; Moderadamente Resistentes a son Motacú con 40%, San Pablo con 30 % Urubo, USDA 14, Sausal y AN-120 con 15 % y USDA 8 y CMT-50 con valores de 10 % de incidencia en la espiga.

En cuanto a helmitosporiosis los materiales susceptibles son: San Marcos, AN-124, Tajibo, Arex, y Moderadamente Resistentes y Resistentes son: San Pablo con 15 % y CMT-50 con 15% de incidencia y los materiales considerados como resistentes son: Motacú, Urubo, USDA 14 y Sausal con valores de 10 %.

Referencias citadas

- Alves, K., and Fernandes, J. 2006. Influência da Temperatura e da *Umidade Relativa* do Ar na Esporulação de *Magnaporthe grisea* em Trigo. Fitopatologia Brasileira 31:579-584.
- Cruz, C., Bockus, W., Stack, J., Tang, X., Valent, B., Pedley, K., and Peterson, G. 2012. Preliminary assessment of resistance among U.S. wheat cultivars to the *Triticum* pathotype of *Magnaporthe oryzae*. Plant Dis. 96:1501-1505.
- Goulart, A., Paiva, F., and Andrade, P. 1995. Relação entre a incidência da brusone em espigas de trigo e a presença de *Pyricularia grisea* nas sementes colhidas. Fitopatologia Brasileira, 20:184-189.
- Igarashi, S., Utiamada, C. M., Igarashi, L. C., Kazuma, A. H., and Lopes, R. S. 1986. Pyricularia em trigo. 1. Ocorrência de Pyricularia sp. no estado do Paraná. Fitopatol. Bras. 11:351-352.
- Igarashi, S. 1988. Brusone no trigo- histórico e distribuição geográfica no Paraná. In: Reunião nacional de pesquisa de trigo, 15. Embrapa, Passo Fundo. Resumos pp. 157.
- Igarashi, S. 1990. Update on wheat blast (*Pyricularia oryzae*) in Brazil. Pages 480-483 In: Proc. Int. Conf. Wheat Nontraditional Warm Areas. D. Saunders, ed. Mexico, D.F.
- Urashima, A. S., Grosso, C. R. F., Stabili, A., Freitas, E. G., Silva, C. P., Netto, D. C. S., Franco, I., and Meñrola Bontan, J. H. 2009. Effect of *Magnaporthe grisea* on seed germination, yield and quality of wheat. Pages 267-277 in: Advances in Genetics, Genomics and Control of Rice Blast Disease. G. L. Wang and B. Valent, eds. Springer, Netherlands.
- Kohli, M. M., Mehta, Y. R., Guzman, E., Viedma, L. D., and Cubilla, L. E. 2011. Pyricularia blast—A threat to wheat cultivation. Czech J. Genet. Plant 47:S130-S134.

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 cruza bolivianas y 50 líneas de trigo biofortificado provenientes de cruza 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-P₂O₅-K₂O*ha⁻¹. (Equivale a 2 qq de FDA más 1 qq de Urea*ha⁻¹) todo a la siembra. La Densidad de siembra fue de 100 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 genera-

das. 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 LIMA-BAMBA-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
Coefficiente 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, DFr= 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 variabi-

lidad 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.

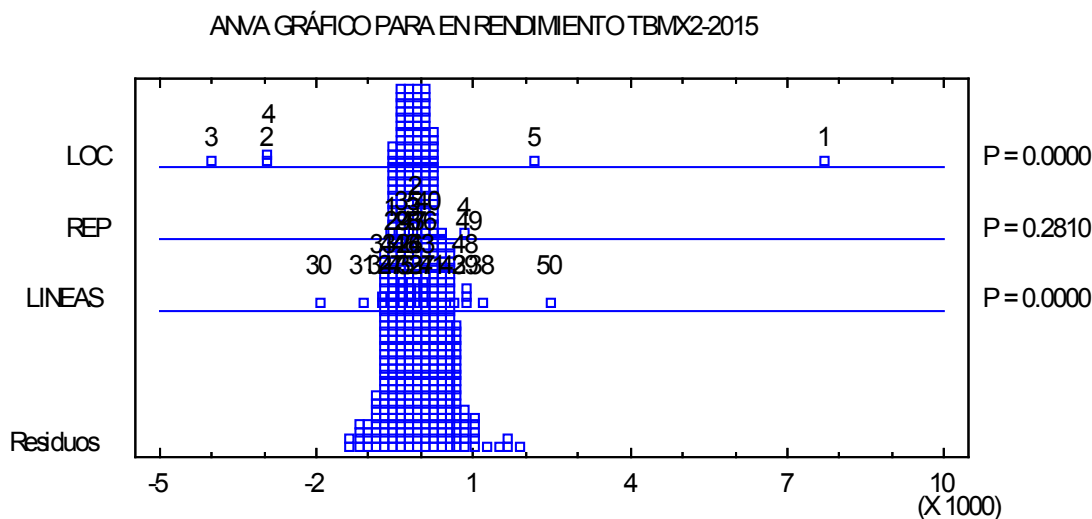


Figura 2. Análisis de Varianza Gráfico para el rendimiento de 25 líneas de trigo biofortificado **TBMX2** en 5 localidades (Yamparáez, Tarabuco, Lequezana, Redención y Anzaldo), Gestión 2014 – 2015

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
Coefficiente 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 des-

viación estándar de +/- 887.5 kg*ha⁻¹. El análisis de varianza muestra que existen diferencias altamente significativas entre las diferentes líneas evaluadas. Estas diferencias también se hacen notorias entre las localidades (Figura 3).

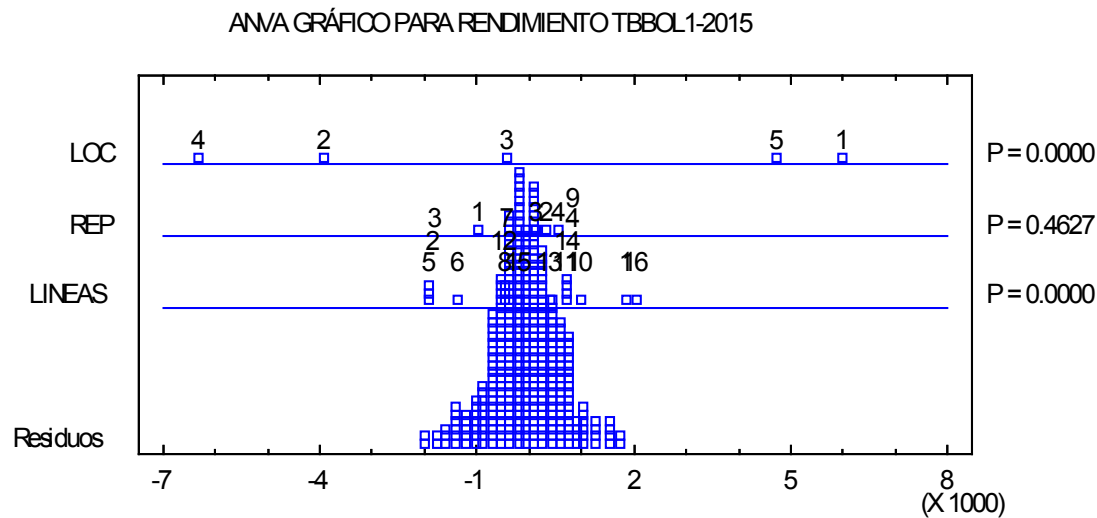


Figura 3. ANVA gráfico para rendimiento de 16 líneas de trigo biofortificado **TBBOL1** en 5 localidades (Yamparáez, Tarabuco, Lequezana, Redención y Anzaldo), Gestión agrícola 2014 – 2015.

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 Li-

mabamba, 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)

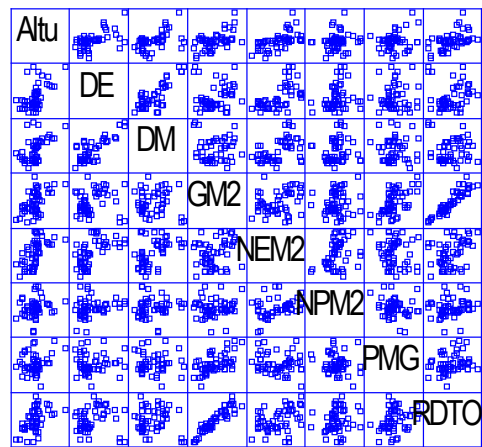


Figura 4. Gráfico de correlaciones entre variables (RE=Rendimiento, PG=Peso de Mil granos, LE= Longitud de Espiga, DM= Días a la Madurez, DE= Días al Espigamiento, DF= Días a la Floración, AL= Altura de Planta) del ensayo de Validación de Trigos Biofortificados.

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).

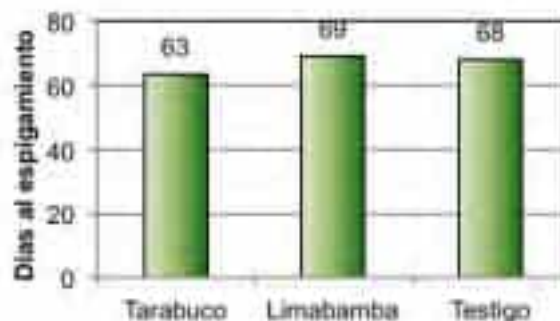


Figura 5. Días al Espigamiento de Trigo Biofortificado, media de 18 localidades de Chuquisaca, Potosí y Cochabamba, 2013-2014

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)

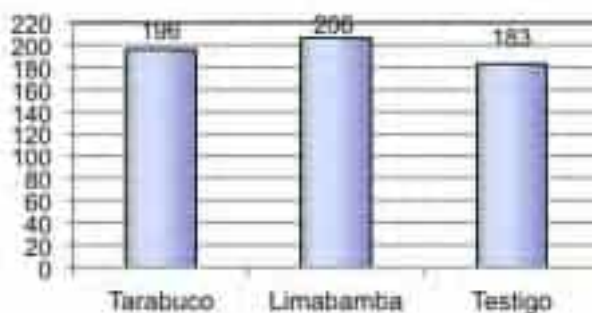


Figura 6. Espigas por m² de trigos biofortificados, media de 14 localidades de Chuquisaca, 2013-2014

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)

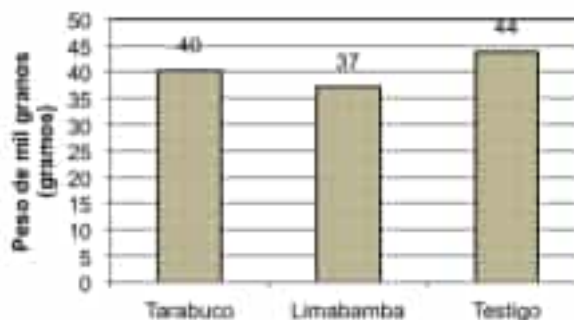


Figura 7. Peso de mil granos, media de 18 localidades de Chuquisaca, Potosí y Cochabamba, 2013-2014.

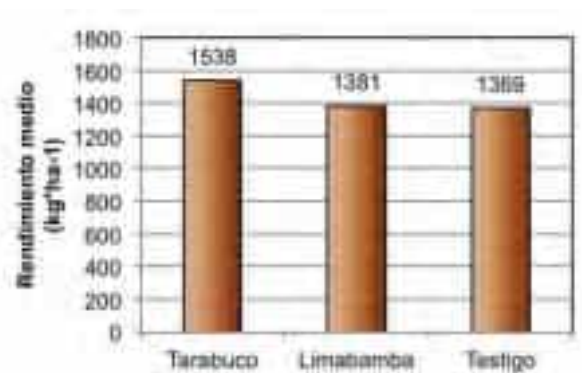


Figura 8. Rendimiento, media de 18 localidades de Chuquisaca, Potosí y Cochabamba, 2013-2014

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.

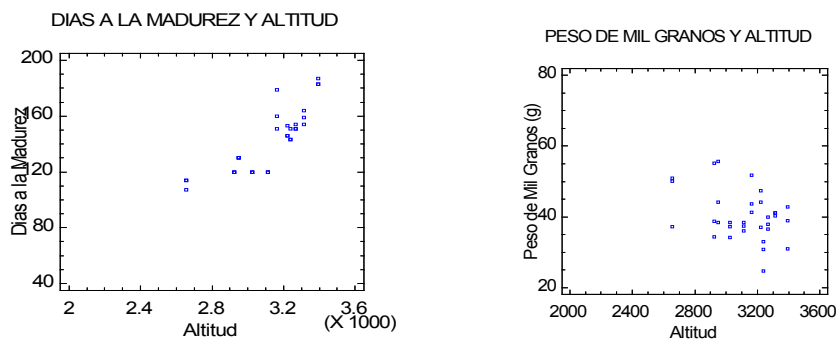


Figura 9. Efecto de la altitud sobre el ciclo del cultivo y el llenado de grano en variedades de trigo Tarabuco y Limabamba validados en 14 localidades de Chuquisaca y Potosí durante la gestión agrícola 2013-14.

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 fueron 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 cruza bolivianas.

Se han evaluado en campo y gabinete 50 líneas de trigo biofortificado provenientes de cruza 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 Biofortificação. 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.

Selección de cultivares de trigos harineros y duros tolerantes a *Piricularia* en la localidad de Quirusillas a partir de germoplasma introducido del CIMMYT

Roberto Butrón, Gonzalo Quispe, Félix Marza; Félix Quispe,
Benjamín Huallpa, Gilberto Gutiérrez

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

Resumen

Se estableció el vivero 1th Seed Wheat Blast South America introducido del CIMMYT durante la campaña agrícola 2012-2013 en la localidad de Quirusillas con el objetivo de evaluar germoplasma de trigos harineros y duros para fuentes de tolerancia para piri-
cularia (*Pyricularia grisea* S.), para ello se evaluaron 11 variables de respuesta, para la operacionalización de las mismas se empleó estadística paramétrica univariada y multivariada con el paquete R. Se identificaron 71 genotipos de trigo harinero como muy tolerantes para la enfermedad de piri-
cularia de los cuales las líneas 857, 545, 578, 675, 66, 64, 611, 80, 571 y 55 además muestran tolerancia para helmintosporiosis. De los 290 genotipos de trigo duro, no existen genotipos que tienen una tolerancia marcada, sin embargo 47 genotipos muestran tolerancia para piri-
cularia de los cuales 1379, 1383, 1399, 1365, 1373, 1374, 1340, 1400 tienen a la vez tolerancia para helmintosporiosis.

Palabras clave: trigo harinero, trigo duro, *Piricularia*.

Abstract

The 1th Wheat Blast South America nursery to screen for wheat blast was introduced from CIMMYT. That nursery was integrated by bread and durum wheat lines and it was established in Quirusillas valley in Santa Cruz during the crop year 2012-2013 in order to screen for sources of tolerance for piri-
cularia. Eleven variables were evaluated in field. Statistical package R was used to operationalize parametric univariate and multivariate responses. Out of total, 71 wheat genotypes were identified as being very tolerant to wheat blast, besides, some of those lines were also identified as tolerant to helmintosporiosis (lines: 857, 545, 578, 675, 66, 64, 611, 80, 571 and 55). Of the 290 genotypes of durum wheat genotypes, none of them were significantly tolerant to wheat blast, however, 47 showed moderate tolerance for wheat blast, some of them like 1379, 1383, 1399, 1365, 1373, 1374, 1340, 1400 also were tolerant for helmintosporiosis too.

Introducción

El trigo es el cultivo más ampliamente cultivado a nivel global y representa una importante fuente de energía para la alimentación en Bolivia. El trigo es un rubro priorizado y estratégico para el país donde la producción nacional solo alcanza a cubrir alrededor del 30% de la demanda interna con rendimientos que fluctúan entre 0.6 a 1.6 t*ha⁻¹ muy por debajo de los índices productivos de los países de la región y esta baja productividad se atribuye a varios factores bióticos y abióticos (INIAF, 2012). Entre los factores bióticos la enfermedad de *Piricularia* (*Pyricularia grisea* S.) es el factor más importante que puede afectar

la producción hasta en un 100% en la área tropical (Kohli *et al.*, 2011). Este patógeno infecta en las partes aéreas de la planta (hojas, tallos y espiga). Sin embargo las mayores pérdidas se traducen cuando el hongo ataca los raquis en la base de la espiga, lo que limita el desarrollo de los granos y mata completamente la espiga (Kohli *et al.*, 2011)

La enfermedad puede en algún grado ser manejada y reducir su incidencia con la aplicación de fungicidas, cultivares tolerantes, prácticas agronómicas y métodos biotecnológicos (Ribot *et al.*, 2008). Sin embargo, el uso de variedades tolerantes es el mé-

todo más económico y beneficioso para el medio ambiente (Khan *et al.*, 2001 y Haq *et al.*, 2002). La tolerancia con el transcurrir del tiempo puede quebrarse debido a la aparición de nuevas razas más virulentas del patógeno (Sánchez, 2007). El presente estudio tiene por objetivo de evaluar germoplasma de trigos harineros y duros introducidos del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de maíz y Trigo) para fuentes de tolerancia a piricularia en la localidad de Quirusillas, Santa Cruz, Bolivia.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la localidad de Quirusillas, ubicado en los valles mesotérmicos del departamento de Santa Cruz durante la campaña agrícola 2012-2013. El germoplasma in-

trducido del CIMMYT estuvo constituido de 1581 genotipos de trigos (1291 harineros y 290 duros) del vivero 1th Seed Wheat Blast South America. El material fue establecido bajo la metodología de surco por entrada bajo una densidad de siembra de 100 kg*ha⁻¹, fueron evaluadas 11 variables cualitativas (binarias, ordinales y nominales) y cuantitativas (continuas y discretas). Se utilizó estadística descriptiva y análisis multivariado (análisis de componentes principales, análisis clúster), que permitieron identificar cultivares que tienen fuente de tolerancia a piricularia (tabla 1).

El análisis de componentes principales y la estimación de índices de similitud entre las variables fue evaluada. Se utilizó el software estadístico R-Project 3.2.2 (R Core Team, 2015) y el dendrograma fue graficado con la librería Circlize 0.3.4 (Zuguang, 2015)

Tabla 1. Escala de calificación (1-5) de piricularia utilizado en la evaluación

Escala	Severidad de la enfermedad	Respuesta del huésped
1	Lesiones de mancha marrones de 3 mm o más con infección con más de 75% de área foliar afectada	Muy susceptible
2	Lesiones de mancha marrones de 3 mm o más largo con infección de 26-50% del área foliar	Susceptible
3	Lesiones de mancha marrones de 3 mm o más de 10.4% de infección del área foliar	Moderadamente tolerante
4	Pequeñas manchas marrones	Tolerante
5	No se observa lesiones en la planta	Muy tolerante

Resultados y discusión

Para efectos de caracterizar el comportamiento climático de la localidad de Quirusillas, se construyó un climadiagrama his-

tórico de 10 años precedentes (figura 1) que contempla precipitación, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima, que se constituyen indicadores propicios para el desarrollo de la enfermedad de piricularia.

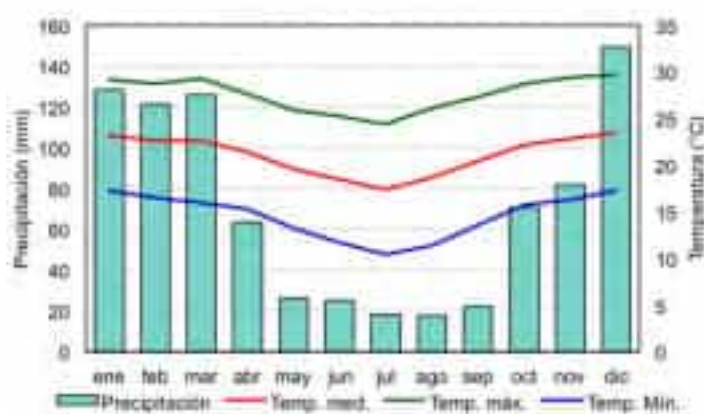


Figura 1. Comportamiento de la precipitación pluvial y temperatura de 10 años históricos de la localidad de Quirusillas, Santa Cruz.

Los meses que implican la evaluación del cultivo están comprendidos entre los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, donde se observa precipitaciones desde 149, 128, 122 y 126 mm respectivamente, siendo la acumulada de 525 mm y la temperatura media oscila entre los 23°C siendo la máxima de 30°C y la mínima 17°C. Sin embargo el ambiente propicio para su desarro-

llo del patógeno, se caracteriza con periodos de lluvias continuas y temperaturas entre los 18 a 25°C durante la etapa de floración del cultivo, seguido de días soleados, cálidos y húmedos (Kohli *et al.*, 2011). En condiciones controladas de cámara de crecimiento, Cardoso *et al.* (2008), observaron mayor intensidad de infección a 30 °C, que aumentó con la duración del período de humectación,

y la más baja a 25° C con un período de humectación de menos de 10 horas. Sin embargo, a 25 °C y 40 h de la humectación, la intensidad de infección superó el 85%. Por las razones antes expuestas, las condiciones medioambientales de la localidad de Quirusillas se constituye en el ambiente potencialmente adecuado para la evaluación de la incidencia del patógeno.

Los datos fenotípicos de cultivares de trigo harinero fueron resumidos (tabla 2) en función a algunos estadísticos descripti-

vos. El número de días a la emergencia, días a la floración y días a la madurez en promedio para los genotipos fueron de 6, 78, 100 días respectivamente. La altura de planta promedio 55 cm siendo la máxima de 95 cm y la mínima 32 cm. El promedio de longitud de espiga alcanzado fue de 8.7 cm, con una fluctuación de $\pm 1,17$ cm. Respecto a la tolerancia a factores adversos, se evidenció la alta variabilidad entre los cultivares, que oscilan desde muy susceptibles hasta muy tolerantes.

Tabla 2. Estadística descriptiva de características cualitativas y cuantitativas (DE: Días a la emergencia; DF: Días a la floración; AP: Altura de planta; RA: Reacción al acame; RY: Roya; PI: Piricularia; HL: Helmintosporiosis; LE: Longitud de espiga; PE: Posición de espiga; CE: Color de espiga y DM: Días a la madurez) de genotipos de trigos harineros del vivero 1th Seed Wheat Blast South America introducidas del CIMMYT, evaluadas en la localidad de Quirusillas, durante la campaña agrícola 2012-2013.

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza	Sesgo	Curtosis
DE ²	5	8	6	0,78	0,60	0,04	-1,31
DF ²	70	95	78	8,37	70,01	0,88	-0,48
AP ⁶	32	95	55	6,10	37,22	0,70	4,32
RA ¹	1	5	-	-	-	-	-
RY ¹	3	5	-	-	-	-	-
PI ¹	1	5	-	-	-	-	-
HL ¹	1	5	-	-	-	-	-
LE ⁶	5	11	8,7	1,17	1,36	-0,34	-0,78
PE ⁵	1	5	-	-	-	-	-
CE ⁶	1	3	-	-	-	-	-
DM ²	95	120	100	6,64	44,05	1,14	0,44

²Días; ⁶Centímetros; ¹1=Muy susceptible, 2= Susceptible, 3=Intermedio, 4=Tolerante y 5= Muy tolerante; ⁵1=Recto y 5= Curvado y ⁶1= Púrpura, 3=Rojo y 5=Blanco

También se elaboró estadística descriptiva para datos fenotípicos de 290 líneas de trigo duro. Donde la altura de planta máxima alcanzada por los cultivares fueron de 70 cm y la mínima de 39 cm, siendo de menor magnitud en comparación con los genotipos de trigos harineros. El promedio de longitud de espiga alcanzado por las líneas fue de 8.5 cm, con una variación de $\pm 1,15$. En cuanto a las variables fenológicas días a la emergencia, días a la floración y días la madurez se expresó en promedio de 6,74 y 98 días respectivamente. Además el comportamiento de los cultivares frente a los factores bióticos mostraron variabilidad desde tolerantes hasta muy susceptibles para piricularia y para helmintosporiosis desde muy susceptibles hasta muy tolerantes. Los valores de coeficiente de sesgo y curtosis no excedieron ± 2 , indicando que la distribución de las expresiones fenotípicas de las líneas estuvo dentro de los parámetros establecidos de normalidad.

Para examinar la agrupación de variables afines y la conformación de componentes no correlacionados, se realizó el análisis de componentes principales con datos estandarizados (figura 2) de genotipos de trigo harinero. Se pudo identificar variables que aportan en mayor magnitud a la varianza. Los dos primeros componentes explican 59% de la varianza acumulada. Donde se puede observar que la variable reacción a la piricularia y reacción a helmintosporiosis tienen correlaciones positivas, lo que implicaría alguna forma de ligamiento que podría ser explorado en el futuro. Además se observa que las variables días a la madurez y días a floración están asociadas, ambas proyectas al componente 1. Los genotipos que se proyectan como tolerantes a la piricularia y helmintosporiosis fueron las siguientes: 857, 545, 578, 675, 66, L64, 611, 80, 571 y 55.

Tabla 3. Estadística descriptiva de características cualitativas y cuantitativas (DE: Días a la emergencia; DF: Días a la floración; AP: Altura de planta; RA: Reacción al acame; RY: Roya; PI: Piricularia; HL: Helmintosporiosis; LE: Longitud de espiga; PE: Posición de espiga; CE: Color de espiga y DM: Días a la madurez) de genotipos de trigo duro del vivero 1Seed Wheatblast Southamerica introducidas del CIMMYT, evaluadas en la localidad de Quirusillas, durante la campaña agrícola 2012-2013.

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza	Asimetría	Curtosis
DE ²	5	7	6	0,78	0,61	0,27	-1,32
DF ²	70	95	74	7,87	61,88	2,00	2,55
AP ⁶	39	70	54,7	4,57	20,86	-0,19	0,00
RA ⁹	3	5	-	-	-	-	-
RY ⁹	3	3	-	-	-	-	-
PI ⁹	1	4	-	-	-	-	-
HL ⁹	1	5	-	-	-	-	-
LE ⁶	6	11	8,5	1,15	1,33	0,17	-1,16
PE ⁵	1	5	-	-	-	-	-
CE ⁶	1	3	-	-	-	-	-
DM ²	95	110	98	5,17	26,71	1,59	1,07

²Días; ⁶Centímetros; ⁹1=Muy susceptible, 2= Susceptible, 3=Intermedio, 4=Tolerante y 5= Muy tolerante; ⁵1=Recto y 5= Curvado y ⁶1= Púrpura, 3=Rojo y 5=Blanco

De la figura 3 se observa la gráfica biplot construido a base de datos estandarizados de 11 variables de trigos duros que expresan y representan el 64% de varianza acumulada. Las variables reacción a piricularia, reacción a helmintosporiosis con la posición de la espiga están correlacionadas positivamente, este comportamiento es probablemente debido a precondition de requerimientos medioambientales similares. Sin embargo las

variables días a la floración y días a la madurez también están correlacionadas. En cuanto a los genotipos se visualiza 3 grupos distintivos frente a las 11 variables evaluadas. Los genotipos: 1379, 1383, 1399, 1365, 1373, 1374, 1340, 1400 se proyectaron adyacentes al vector de reacción a piricularia, manifestando su tolerancia a la incidencia de la patología.

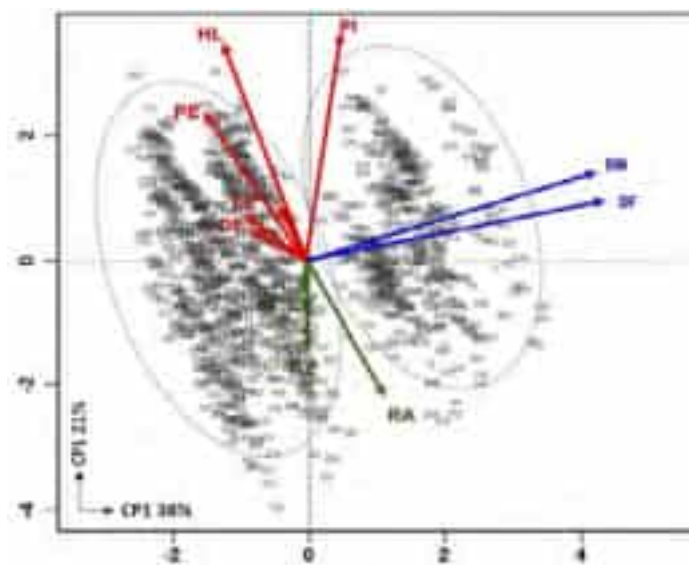


Figura 2. Análisis Biplot de la caracterización de genotipos de trigo harinero del vivero 1Seed Wheatblast Southamerica introducidas del CIMMYT, evaluadas en la localidad de Quirusillas, durante la campaña agrícola 2012-2013. Las características evaluadas fueron: altura de planta (AP), color de espiga (CE), tolerancia a la piricularia (PI), reacción al acame (RA), tolerancia a la roya (RY), días a la emergencia (DE), días a la madurez (DM), tolerancia a helmintosporiosis (HL), longitud de espiga (LE) y posición de la espiga (PE).

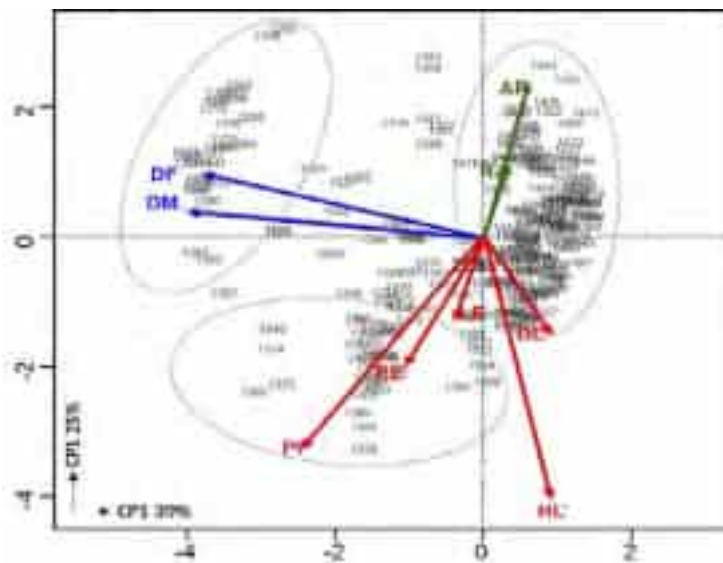


Figura 3. Análisis Biplot de la caracterización de genotipos de trigo duro del vivero 1thSeed Wheatblast Southamerica introducidas del CIMMYT, evaluadas en la localidad de Quirusillas, durante la campaña agrícola 2012-2013. Las características evaluadas fueron: altura de planta (AP), color de espiga (CE), tolerancia a la piricularia (PI), reacción al acame (RA), tolerancia a la roya (RY), días a la emergencia (DE), días a la madurez (DM), tolerancia a helmintosporiosis (HL), longitud de espiga (LE) y posición de la espiga (PE).

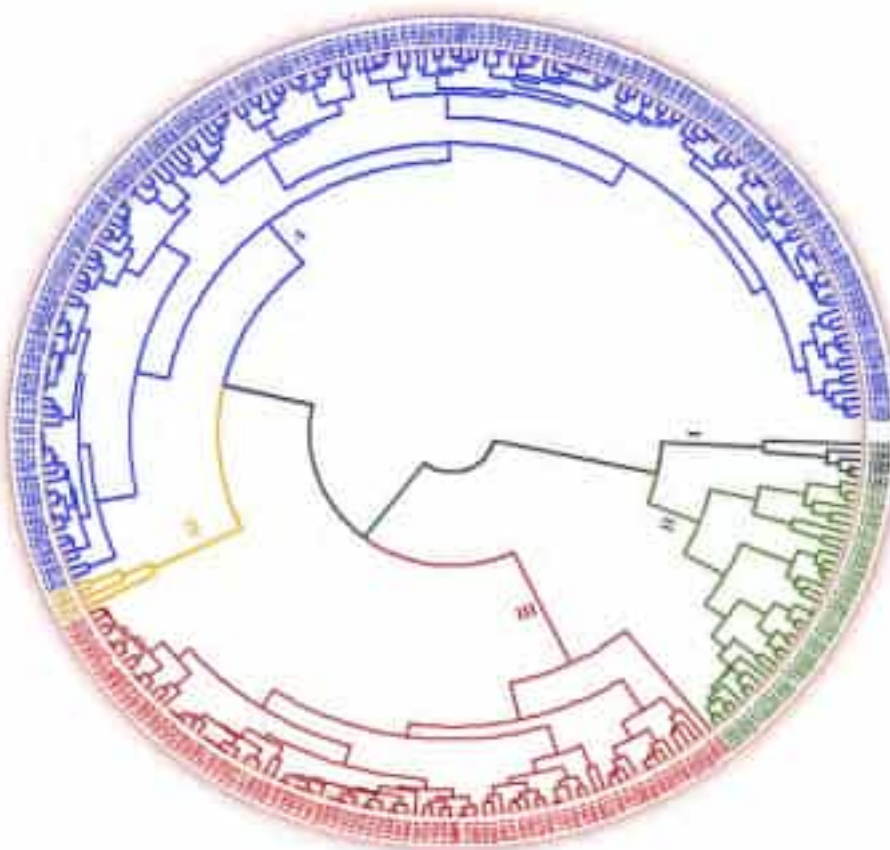


Figura 4. Dendrograma circular de distancias basado en datos estandarizados de 290 genotipos de trigo duro a partir de 11 variables cuantitativas y cualitativas.

El análisis de clúster de 290 cultivares de trigo construido en base a los datos cualitativos y cuantitativos estandarizados y representados en el dendograma circular (figura 4), permitió la identificación de cinco grupos que tienen características similares y contrastantes: el primero lo conforman genotipos que son muy susceptibles a enfermedades evaluadas y tardíos, el segundo: 38 fueron susceptibles tardíos y con posición de espigas recta, el tercero: compuesto de 84 genotipos que presentaron similitud en términos de tolerancia moderada a enfermedades y son de ciclo

intermedio, el cuarto: 6 líneas tienen tolerancia moderada para las enfermedades y precoces y 157 son tolerantes, precoces y porte de planta baja que representa el 57% de la población en estudio.

De los 1291 genotipos de trigo harinero 71 (11%) de ellos resultaron ser muy tolerantes para piricularia, 362 (19%) tolerantes, 466 (36%) muy tolerantes y el restante se distribuyen entre susceptibles y muy susceptibles. En cuanto a trigos duros 16 (47%) de 290 fueron Tolerantes, 86 (30%) moderadamente tolerantes, 78 (27%) susceptibles y 79 (27%) y muy susceptibles.

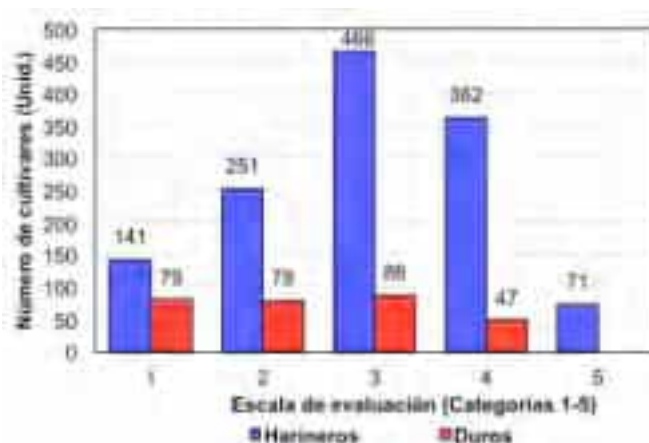


Figura 3. Conteo de cultivares de trigo harinero y trigos duros del vivero 1th Seed Wheat Blast South America introducidas del CIMMYT tolerantes a piricularia (1=Muy susceptible, 2= Susceptible, 3=Moderadamente susceptible, 4=Tolerante y 5= Muy tolerante), evaluadas en la localidad de Quirusillas, durante la campaña agrícola 2012-2013.

Conclusiones

Se identificaron 71 genotipos de trigo harinero como muy tolerantes para la enfermedad de piricularia de los cuales las líneas 857, 545, 578, 675, 66, 64, 611, 80, 571 y 55 además muestran tolerancia para helmintosporiosis.

De las 290 líneas de trigo duro, no existen genotipos que hayan mostrado tolerancia marcada, sin embargo 47 genotipos muestran moderada tolerancia para piricularia de los cuales 1379, 1383, 1399, 1365, 1373, 1374, 1340, 1400 tienen a la vez tolerancia para helmintosporiosis.

En el estudio se identificó una relación positiva entre las variables de reacción a piricularia y helmintosporiosis.

Referencias citadas

- Cardoso C.A. De A., Reis E.M., Moeira E.N. (2008). Desenvolvimento de sistema de previsão de brusone causada por *Pyricularia grisea*. *Summa Phytopathologica*, 34: 216–221.
- Haq, I. M., M. Fadnan, F.F. Jamil and A. Rehman. 2002. Screening of rice germplasm against *Pyricularia oryzae* and evaluation of various fungitoxicants for control of disease. *Pak. J. Pythopath.* 14(1):32-5.
- INIAF. 2012. Boletín informativo. Nro. 1
- Khan, J. A., F. F. Jamil, A.A. Cheema, and M. A. Gill. 2001. Screening of rice germplasm against blast disease caused by *Pyricularia oryza* In: *Proc. National Conf. of Plant Pathology*, held at NARC. Islamabad. Oct 1-3. pp. 86-9
- Kohli, M. M., Y. R. Mehta, E. Guzman, L. De Viedma, and L. E. Cubilla. 2011. *Pyricularia* blast a threat to wheat cultivation. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 47(Special Issue):S130–S134.
- Latin, R., and P. Harmon. 2004. Managing gray leaf spot in the midwest. *Golf Course Management* 72:89-92.
- Maciel, J. L. N. 2011. *Magnaporthe oryzae*, the blast pathogen: Current status and options for its control. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 6:233-240.

- Maciel, J. L. N. 2013. Phenotypic and genetic variation in *Magnaporthe oryzae* from wheat and Poaceae in Brazil. Wheat Blast Symposium, North Central American Phytopathological Society Annual Meeting, Manhattan, KS. June 14, 2013.
- Osborne, L., and K. Ruden. 2011. Seed treatment fungicide options for wheat in South Dakota. South Dakota University.
- Pedersen, D. K., R. T. Kane, and H. T. Wilkinson. 2000. First report of gray leaf spot caused by *Pyricularia grisea* on *Lolium perenne* in Illinois. Plant Disease 84(10):1151.
- Ribot, C, J. Hirsch, S. Balzergue, D. Tharreau, J. H. Notteghem, M. H. Lebrun and J. B. Morel. 2008. Susceptibility of rice to the blast fungus, *Magnaporthe grisea*. J. Plant Physiol. 165: 114
- Sanchez, J. 2007. Identificación de marcadores asociados a la resistencia del aguacate raza mexicana (*persea americana* mill. var. *drymifolia*) al oomiceto *Phytophthora cinnamomi* Rands Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias biológicas en la opción de biología experimental. Michoacán, México. 116 pag.
- USDA. 2015. New Pest Response. Guidelines Teleomorph: *Magnaporthe oryzae* B.C. Couch Triticum pathotype; Anamorph: *Pyricularia oryzae* Cavara Wheat Blast. The U.S. Department of Agriculture (USDA). 102 pag.
- Zhang, N., A. Y. Rossman, K. Seifert, J. W. Bennett, G. Cai, L. Cai, B. Hillman, J. Luo, D. Manamgoda, W. Meyer, T. Molnar, C. Schoch, M. Tadych, and J. F. White, Jr. 2013. Impacts of the international code of nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne code) on the scientific names of plant pathogenic fungi. 1-25.

Evaluación de quince cultivares de trigo duro en condiciones semiáridas

Irene M. Gutiérrez, Félix Marza, Roberto Butrón, Félix Quispe, Gilberto Gutiérrez
 Programa Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF),
 Av. Blanco Galindo km 5.5, Casilla 832, Cochabamba, Bolivia.
 mercedeslive2010@hotmail.com

Resumen

La utilización de trigo duro es específicamente para la alimentación humana, siendo la producción de pasta su principal uso, el trigo duro se caracteriza por el alto contenido de semolina que confiere propiedades de cohesión a la masa para la elaboración de pastas. El Vivero Internacional de Selección de Trigo Duro (44 IDYN), está enfocado para observar el desempeño y adaptación de nuevas variedades de trigo duro, en una amplia gama de latitudes, climas, fertilidad y enfermedades que condicionan el rendimiento. El presente estudio fue establecido para la identificación de genotipos promisorios y la evaluación de componentes de rendimiento en quince genotipos de trigo duro, el mismo se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Este trabajo de investigación se estableció a nivel nacional en tres departamentos: Cochabamba, Chuquisaca y Tarija, durante dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015. Los resultados obtenidos muestran que existen diferencias altamente significativas entre líneas y entre localidades. La línea 720 muestra el mayor rendimiento en grano con $2256 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, las correlaciones más altas son para las variables longitud de espiga y número de espiguillas por espiga ($r=0.57^{**}$), el rendimiento está correlacionado con las variables número de espigas por metro ($r=0.52^{**}$).

Palabras clave: trigo duro, líneas elite, correlación, rendimiento.

Abstract

The use of durum wheat is specifically for human consumption, being the pasta production its main use. Durum wheat is characterized by the high content of semolina, which gives to the pasta production the cohesive properties of the dough. The International Durum Wheat Yield Nursery (44 IDYN), is focused to observe the performance and adaptation of new durum wheat varieties, in a wide range of latitudes, climates, fertility and diseases that affect its performance. The study was established in order to identify promising genotypes, and evaluation of yield components in fifteen genotypes of durum wheat, it was set up under a complete random block design (DBCA). This research was established nationwide in three departments: Cochabamba, Chuquisaca and Tarija for two crop years 2013-2014 and 2014-2015. The results showed that there are highly significant differences between lines and between locations, line 720 shows the highest grain yield with $2256 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, the highest correlations were for variables spike length and number of spikelets per spike ($r = 0.57^{**}$), performance was correlated with the variable number of spikes per meter ($r = 0.52^{**}$).

Introducción

El trigo duro es la especie más cultivada de trigo tetraploide, se estima que el área mundial cultivada de trigo duro comprende aproximadamente 13 millones de ha, es decir, alrededor del 24% de la superficie total de trigo a nivel global, con una producción de 26 millones de $\text{t} \cdot \text{año}^{-1}$. Una proporción importante del mercado mundial de trigo común o harinero es consumida por los animales, mientras que en el caso del trigo duro la alimentación humana constituye su única utilización, siendo la producción de pasta su principal uso. Tanto a nivel global así como a nivel

nacional existe la necesidad de continuar mejorando los índices productivos para llegar a satisfacer las necesidades de los productores y por ende contribuir a la seguridad alimentaria de la población.

La importancia del trigo duro a nivel nacional está enfocada principalmente a la cultura alimenticia de la población en el área tradicional y occidental, quienes consumen este cereal de manera cotidiana en diferentes derivados como la sémola, su uso también se extiende a la elaboración de pastas y otros. El desarrollo

de cultivares de trigo de alto rendimiento y la identificación genotipos con los rasgos deseables es el objetivo principal de cualquier programa de mejoramiento en el mundo, (Mary y Gopalan, 2006). El desarrollo de cultivares con alta productividad requiere del fortalecimiento de una amplia base genética, requisito previo que hace viable objetivos de selección y que posibilitan la identificación de líneas promisorias y variedades (Jamal *et al.*, 2009).

El Vivero Internacional de Selección de Trigo Duro (44 IDYN), está enfocado para observar el desempeño y adaptación de nuevas variedades de trigo duro, en una amplia gama de latitudes, climas, fertilidad y enfermedades que condicionan el rendimiento. El presente estudio tiene como objetivo central la identificación de genotipos promisorios y la evaluación de componentes de rendimiento en quince genotipos de trigo duro.

Materiales y métodos

El material genético empleado en el presente estudio proviene de la selección de líneas del vivero 44 IDYN (Vivero Internacional de Selección de Trigo Duro) introducido por el Programa Nacional de Trigo (PN-TRIGO) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) en la campaña agrícola 2012-2013 del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), que inicialmente consistía en 50 líneas avanzadas de trigo duro de las cuales se seleccionaron 14 líneas por características agronómicas, tolerancia a factores bióticos y abióticos adversos, así como sus aptitudes de alta productividad. En el estudio se incluyó la variedad México como testigo.

El estudio se estableció bajo la estructura de un diseño de bloque completo al azar (DBCA), constituido por 3 bloques y 15 genotipos de trigo duro (tratamientos), cada unidad experimental fue estructurada por cinco surcos con una distancia entre surcos

de 0.30 m y 4 m de largo de surco. La densidad de siembra fue de 100 kg*ha⁻¹, la fertilización de 100 kg*ha⁻¹ con una relación 1:1 de fosfato de amonio y urea, se utilizó herbicida Ally para malezas de hoja ancha, la dosis fue de 6 gr*ha⁻¹. Las variables de respuesta registradas fueron: número de macollos (NM), número de espigas por metro cuadrado (MEN), longitud de espiga (LE), número de espiguillas por espiga (NEE), número granos por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH), rendimiento en grano (RDTO).

Este trabajo de investigación se estableció a nivel nacional en tres departamentos: Cochabamba (localidades; Yuraj Molino, Tarata y San Benito), Chuquisaca (localidades; Zudáñez y Villa Charcas), Tarija (localidades; Chaguaya, Yesera Norte y Alto España) en las campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015. Para analizar los datos cuantitativos obtenidos en el estudio se realizó el análisis estadístico descriptivo (considerando el análisis de tendencia central, dispersión y distribución), el análisis de varianza para analizar la variación total de los resultados experimentales, análisis de correlación para identificar el grado de asociación existente entre variables, también se realizó un ranking de rendimientos para identificar las líneas de trigo duro con mayor rendimiento y finalmente se realizó el panel Trellis para observar el rendimiento en cada localidad.

Resultados y discusión

La tabla 1, muestra la estadística descriptiva para variables cuantitativas evaluadas en quince cultivares de trigo duro durante dos campañas agrícolas en nueve localidades a nivel nacional, se observa que el rendimiento tiene una media de 2050 kg*ha⁻¹, con un mínimo de 550 kg*ha⁻¹, y como máximo 4096 kg*ha⁻¹. El peso de mil granos presenta una media de 41 g, con un rango de variación de 24 g como mínimo y 67 g como máximo.

Tabla 1. Estadística descriptiva para variables cuantitativas evaluadas en quince cultivares trigo duro durante dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015.

Variabes	Media	Desv. Estándar	Sesgo	Curtosis	Mínimo	Máximo
NM	4	1.9	1.7	3.6	2	13
NEM	205	75.1	1.1	0.7	96	528
LE	6	1.1	1.0	1.7	4	11
NEE	16	3.1	-0.6	-0.4	8	21
NGE	42	8.4	0.3	0.2	21	70
PMG	41	6.5	0.4	0.4	24	67
PH	77	5.1	-1.2	0.9	61	86
RDTO	2059	818.7	0.0	-1.0	530	4096

NM, NEM, LE, NEE, NGE, PMG, PH y RDTO indican; número de macollos, número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga (cm), número de espiguillas por espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos (g), peso hectolítrico (kg*hl⁻¹) y rendimiento en grano (kg*ha⁻¹) respectivamente.

En el análisis de varianza (tabla 2), se observa que existe diferencias altamente significativas para líneas, localidades y para la interacción línea*localidad, para todas las variables observadas. La diferencia significativa entre los genotipo para las variables estudiadas indica la presencia de variación sustan-

cial entre genotipo para las variables cuantificadas, la diferencia significativa entre localidades indica que el comportamiento de cada genotipo fue diferenciado en cada ambiente esto debido a las características edafo-climáticas propias de cada localidad.

Tabla 2. Análisis de varianza para variables cuantitativas evaluadas en quince cultivares trigo duro durante dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015.

FV	CM									
	LE		NGE		PMG		PH		RDTO	
CAMPAÑA	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015
BLQ	0,67 ^{ns}	0,05 ^{ns}	41,89 ^{ns}	89,87*	8,62 ^{ns}	2,91 ^{ns}	2,31 ^{ns}	11,14 ^{ns}	243426,4*	302790,4 ^{ns}
LINEA	4,54**	5,03**	62,38*	103,32**	29,94**	54,83**	33,04**	51,39**	270202,4**	384988,6**
LOC	25,01**	25,94**	6748,62**	1534,91**	628,16**	1332,63**	370,6**	1039,72**	36941208**	45670372,5**
LINEA*LOC	0,87**	0,8**	45,57**	78,24**	20,79**	31,05**	21,09**	13,26**	186093,7**	254661,1**
ERROR	0,49	0,54	30,16	21,82	8,38	17,67	7,03	7,48	76753,5	117743,8
CV	12,5	14,04	13,53	12,12	7,06	10,72	3,46	3,54	18,3	20,56
R ²	0,74	0,72	0,87	0,79	0,76	0,76	0,75	0,84	0,93	0,92

ns = no significativo, * = Significativo al 5% de nivel de significancia, ** = Altamente significativo al 1% de nivel de significancia

LE, NGE, PMG, PH y RDTO indican; longitud de espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento en grano respectivamente.

La mayor correlación se observa para las variables longitud de espiga y número de espiguillas por espiga ($r=0.57^{**}$) esta correlación indica que a mayor longitud de espiga mayor será el número de espiguillas por espiga, otras variables que muestran alta correlación son número de granos por espiga y peso de mil granos ($r=0.40^{**}$). El rendimiento se encuentra altamente correlacionado con las variables número de espigas por metro cuadrado y número de espiguillas por espiga ($r=0.52^{**}$) y ($r=0.51^{**}$) respectivamente, estas correlaciones muestran que a

mayor número de espigas por metro cuadrado y mayor número de espiguillas por espiga conllevan a un incremento en el rendimiento (Tabla 3.). La evaluación de variación genética y relación mutua de varias variables, resulta ser útil para la selección de los genotipos más eficaces. Pero, selección basada en la actuación solo del rendimiento de grano normalmente no es muy eficiente. Así que, la identificación y manejo de varios caracteres que contribuyen para la formación de grano para el rendimiento son importantes. (Gholamreza *et al.*, 2013)

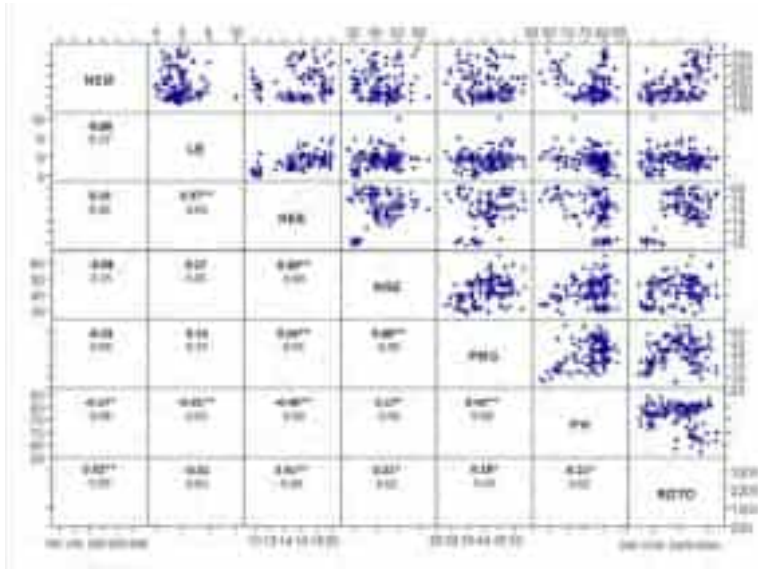


Tabla 3. Matriz de correlación de variables cuantitativas en el estudio de evaluación de rendimiento y componentes de rendimiento de líneas elite de trigo duro evaluadas en dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015.

NEM, LE, NEE, NGE, PMG, PH y RDTO indican; número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga, número de espiguillas por espiga, número de granos por espiga, peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento en grano respectivamente.
* La correlación es significativa en el nivel 0.05 (2 colas), **La correlación es significativa en el nivel 0.01 (2 colas), Negrilla = Correlación, Normal = Significancia

La figura 1 muestra el rendimiento en grano de las catorce líneas de trigo duro y el testigo (variedad México) expresados en Kg*ha⁻¹ durante las campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015, se puede observar que la línea 720 registra el mayor rendimiento con 2256 Kg*ha⁻¹, dentro de los rendimientos más altos también se encuentran las líneas de trigo duro 741, 736, 714 y 737 con rendimientos de 2204, 2189, 2180 y 2155 Kg*ha⁻¹ respectivamente, mientras que el testigo Mexicano registro el ren-

dimiento más bajo 1709 Kg*ha⁻¹ dentro de los rendimiento bajos también se encuentran las líneas 719, 744 y 742 con rendimientos de 1907, 1908 y 1988 Kg*ha⁻¹ respectivamente.

Analizando los rendimientos de trigo duro en función a las líneas se puede observar que superaron al testigo, así mismo se observa que existe una superioridad de las líneas de trigo duro respecto al promedio registrado en zonas tradicionales que oscila entre 0.7 a 1.0 t*ha⁻¹, reportado por el INIAF (2015).

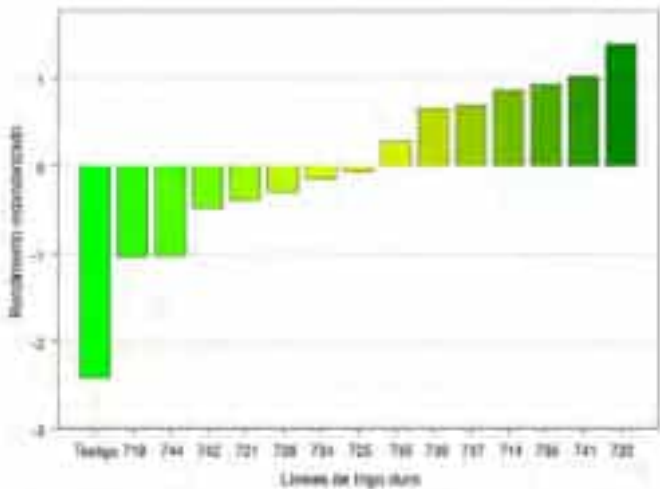


Figura 1. Rankin de rendimiento en el estudio de evaluación de rendimiento y componentes de rendimiento de líneas elite de trigo duro evaluadas en dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015.

La figura 2, muestra claramente que en las localidades: Yesera Norte, Villa Charcas, Chaguaya y Alto España el rendimiento es superior a $2000 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, mientras que en Tarata, Yuraj Molino y San Benito el rendimiento se encuentra alrededor de $1000 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Las condiciones ambientales fundamentalmente la temperatura ambiente puede incidir en el rendimiento, el aumento o disminución del periodo de crecimiento provoca las variaciones en el comportamiento del cultivo (Plana *et al.*, 2006)

La respuesta de las líneas de trigo duro fue particular en cada localidad, consistentemente la línea 737 muestra superioridad en su expresión de rendimiento en relación a las demás líneas de trigo duro y el testigo en las localidades de Alto España y Chaguaya con rendimiento promedio de 3291 y $3142 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente (Figura 2).

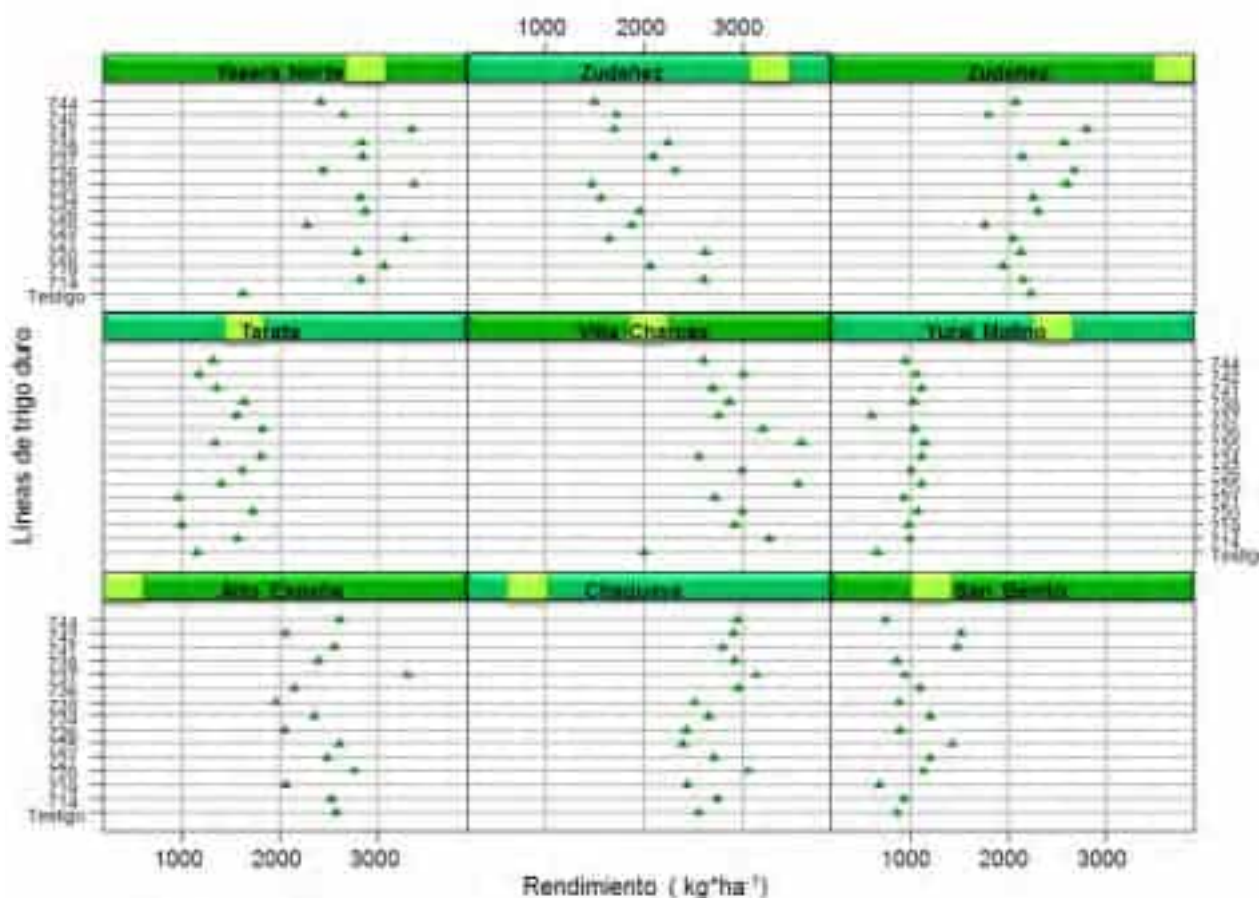


Figura 2. Panel Trellis para rendimiento ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de quince cultivares de trigo duro evaluados en diez ambientes durante dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015.

Conclusiones

El estudio sobre la productividad de 15 genotipos de trigo duro seleccionados del vivero internacional (44 IDYN) evaluadas a nivel nacional durante dos campañas agrícolas 2013-2014 y 2014-2015, muestra que existe diferencias altamente significativas entre líneas y entre localidades. Se identificó que la línea 720 de trigo duro registra el mayor rendimiento con $2256 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, dentro de los rendimientos más altos también se encuentran

las líneas 741, 736, 714 y 737 con rendimientos de 2204 , 2189 , 2180 y $2155 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente; mientras que el testigo variedad México registró el rendimiento más bajo $1709 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. En el estudio, el rendimiento se encuentra altamente correlacionado con las variables número de espigas por metro cuadrado y número de espiguillas por espiga ($r=0.52^{**}$) y ($r=0.51^{**}$) respectivamente. El rendimiento de trigo duro destaca en las localidades: Yesera Norte, Villa Charcas, Chaguaya y Alto España con rendimientos superiores a $2000 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. En estas localidades las líneas expresaron mejor su potencial genético.

Referencias citadas

- Gholamreza, T.; Javad, H. Alireza, P. 2013. Evaluation of yield and yield components in some of promising wheat lines. Agri Crop Sci. Vol., 5 (20), 2379-2384.
- INIAF, 2015. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. Boletín informativo pp 8
- Jamal, K.; Bari, I. Sajid, K. Zada, I. 2009. Genetic variation for yield and yield components in rice. ARPN J. Agril. Biol. Sci. 4:6: 60-64.
- Mary, S.; Gopalan, A. 2006. Dissection of genetic attributes yield traits of fodder cowpea in F3and F4. J. Applied Sci. Res. 2(10), 805-808.
- Plana, R.; Álvarez, M. y Varela, M. 2006. Evaluación de una colección del género Triticum: trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*), trigo duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) y triticale (X *Triticum secale* Wittmack) en las condiciones del occidente de Cuba. Cultivos Tropicales, vol. 27, no. 4, pp. 49-52. ISSN 1819-4087.
- Rojas, B.; Rodríguez, R. y Espinoza, C. 2011. Memoria 3^{ra} Feria y Simposio Nacional del Trigo y sus Derivados. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF. Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable, PROAGRO. Cochabamba, Bolivia. 56 p.
- Tahmasebi,; G. Heydarnezhadian J. Aboughadareh A. 2013. Evaluation of yield and yield components in some of promising wheat lines. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. pp 6.

Evaluación preliminar de 138 genotipos de trigo harinero con aptitud para zonas semiáridas

Félix Quispe, Félix Marza, Roberto Butrón e Irene Gutiérrez

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

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento de 138 líneas de trigo harinero del vivero 29 SAWSN. El estudio se realizó en la campaña agrícola 2011-2012, en cuatro localidades de los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca. Los variables evaluadas y analizadas fueron: Número de macollos (NM), porte de la planta (PP), precocidad (P), altura de planta (AP), espigas por metro (NEM), longitud de espigas (LE), posición de espiga (PE), densidad de espiga (DES), color de grano (CG), espiguilla por espiga (NEE), granos por espiga (NGE), tamaño de grano (TGR), tipo de grano (TG), longitud de arista (LA), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO). Las herramientas estadísticas incluyeron estadística descriptiva y análisis multivariado. Las variables correlacionadas fueron descompuestas en dos componentes principales, explicando el 35.6 % de la varianza total acumulada. En base a los rendimientos obtenidos y análisis realizado de los genotipos de trigo en estudio, se identificó a quince líneas con rendimientos de hasta 2.500 kg ha⁻¹.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the performance of 138 lines of bread wheat from 29th SAWSN nursery introduced from CIMMYT. This work was done between 2011-2012 crop year, in four locations in the departments of Cochabamba and Chuquisaca. The variables assessed and analyzed were: number of tillers (NM), plant habit (PP), precocity (P), plant height (AP) pins per meter (NEM), length of ears (LE), position pin (PE), density pin (DES), color of grain (CG), spikelets per spike (NEE), grains per ear (NGE), grain size (TGR), type of grain (TG), edge length (LA), weight of thousand grains (PMG), test weight (PH) and grain yield (yield). Statistical tools like descriptive statistics and multivariate analysis was used. The correlated variables were decomposed in two main components explaining 35.6% of the total cumulative variance. Based on the wheat performance and analysis performed in the population, fifteen lines of wheat were identified by their promising performance for yield which reached up to 2,500 kg*ha⁻¹.

Introducción

El trigo es un cereal de mucha importancia que se ubica entre los primeros a nivel global con alrededor de seiscientos millones de toneladas, es uno de los componentes más importantes y estables de la dieta humana debido a su gran valor nutritivo, sobre todo por su alto contenido en carbohidratos (65 – 70%) y proteínas (12-13 %) (Acevedo, 2000). En Bolivia, la superficie sembrada para el año 2013 fue aproximadamente de 158.020 ha con una producción de 226.865 toneladas y un rendimiento promedio de 1033.33 kg*ha⁻¹. Sin embargo el consumo per cápita es de 69.17 kg*año⁻¹, con una demanda anual alrededor de 700.000 toneladas por año (MDRyT, 2014). Es esta la razón fundamental por la que se realiza investigaciones en trigo para generar varie-

dades de alto rendimiento y calidad tolerantes a factores bióticos y abióticos adversos con recomendaciones agronómicas desarrolladas en el contexto. El propósito del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de 138 líneas de trigo harinero en cuatro localidades de los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca e identificar líneas genotipos con mayor rendimiento en grano y resistentes a la sequía.

Materiales y métodos

El presente ensayo se realizó en las localidades de Pocoña ubicado a 17° 39' 00" Latitud Sur y 65° 22' 00" Longitud

Oeste a 2658 m.s.n.m., con una precipitación media anual de 582.5 mm y una temperatura media anual de 12.4 °C, Sipe Sipe a 16°15' 00" Latitud Sur y 68° 35' 00" Longitud Oeste y 3850 m.s.n.m. (Cochabamba) y Zudáñez ubicado a 19° 07' 08" Latitud Sur y 64° 42' 12" Longitud Oeste a 2475 m.s.n.m., con una precipitación media anual de 543.8 mm y una temperatura media anual de 16.2 °C (Chuquisaca) en las campañas agrícolas de 2011-2012. El material objeto de estudio fue de 138 genotipos de trigo harinero perteneciente al vivero 29 SAWSN, proveniente del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo y la variedad T89 como testigo local. Por las características del material genético estas no estuvieron estructuradas bajo un diseño experimental específico, ya que son viveros de observación los cuales fueron sembrados bajo la modalidad de surco por entrada. La parcela estuvo estructurado de dos surcos cada línea con 0.25 m de ancho y 4 m de largo con una densidad de siembra de 100 kg*ha⁻¹. Las características registradas fueron: Número de macollos (NM), porte de la planta (PP), precocidad (P), altura de planta (AP), espigas por metro (NEM), longitud de espigas (LE), posición de espiga (PE), densidad de espiga (DES), color

de grano (CG), espiguilla por espiga (NEE), granos por espiga (NGE), tamaño de grano (TGR), tipo de grano (TG), longitud de arista (LA), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO).

Los datos recolectados en campo fueron tabulados en Excel para luego estandarizarlos y conocer los estadísticos descriptivos así como medidas de tendencia central distribución y dispersión. Se realizó un análisis de componentes principales para rendimiento y finalmente un ranking de los genotipos de trigo en general en función al rendimiento obtenido para facilitar la identificación y selección en base a los análisis realizados anteriormente.

Resultados y discusión

Análisis descriptivo: Los parámetros estimados para variables cuantitativas se describen los valores estadísticos más importantes que son utilizados como base para discriminar y explicar el comportamiento individual de cada característica agronómica respecto al material genético utilizado para este propósito.

Tabla 1. Parámetros estadísticos de tendencia central, dispersión y distribución para variables cuantitativas en el estudio de Evaluación Preliminar en una población de 138 genotipos de Trigo Harinero con aptitud para zonas semiáridas evaluadas en las localidades de Pocona, Sipe Sipe y Zudáñez de los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca respectivamente, 2011-2012.

Variables	Rango	Minino	Máximo	Media	Desv. Std.	Varianza	Sesgo	Curtosis
NM	1	2	3	2,7	0,4	0,1	-0,2	-0,6
AP	26,0	44,2	70,2	59,0	4,1	16,7	-0,4	1,9
AF	17,0	11,5	28,5	19,4	3,4	11,8	0,1	-0,3
NEM	49	61	110	83,5	10,3	105,2	0,1	-0,5
LE	3,0	5,7	8,6	7,1	0,6	0,3	0,1	0,1
NGE	14,0	46,0	60,0	52,9	3,1	9,4	0,4	-0,1
LA	2,8	5,7	8,5	6,9	0,5	0,3	0,3	-0,1
PMG	16,6	34,5	51,1	42,1	3,4	11,6	-0,2	-0,3
PH	11,4	69,5	80,9	76,7	1,8	3,3	-0,7	1,9
RDTO	2171,0	808,7	2979,7	2062,5	384,1	147541	-0,1	0,7

NM: número de macollos (unidades); AP: altura de planta (cm); AF: área foliar (cm²); NEM: número de espigas por metro (unidades); LE: longitud de espiga (cm); NGE: número de granos por espiga (unidades); LA: longitud de arista (cm); PMG: peso de mil granos (g); PH: peso hectolítrico (Kg.h⁻¹) y RDTO: rendimiento en grano (Kg.ha⁻¹).

En la tabla 1 se observa las características cuantitativas los cuales se encuentran dentro del margen normal en cuanto a las medidas de distribución (sesgo y curtosis), además de las medidas de tendencia central (media) y dispersión (desviación estándar, varianza, rango, mínimo y máximo) por lo que los criterios son satisfechos y amerita el análisis inferencial.

El rendimiento obtenido en el presente ensayo nos muestra un rango de 2.171 kg*ha⁻¹ alcanzando un mínimo de 808,7 kg*ha⁻¹ y un máximo de 2.979,7 kg*ha⁻¹ lo cual resume el comportamiento de cada uno de las líneas de Trigo que han sido establecidas a un contexto diferente expresándose así en el rendimiento.

Análisis de componentes principales: Las variables independientes fueron transformadas a componentes principales, estas fueron interpretadas tomando en cuenta sus valores,

sus vectores propios y la varianza total explicada por cada uno de los componentes, así como la proporción de la varianza total acumulada.

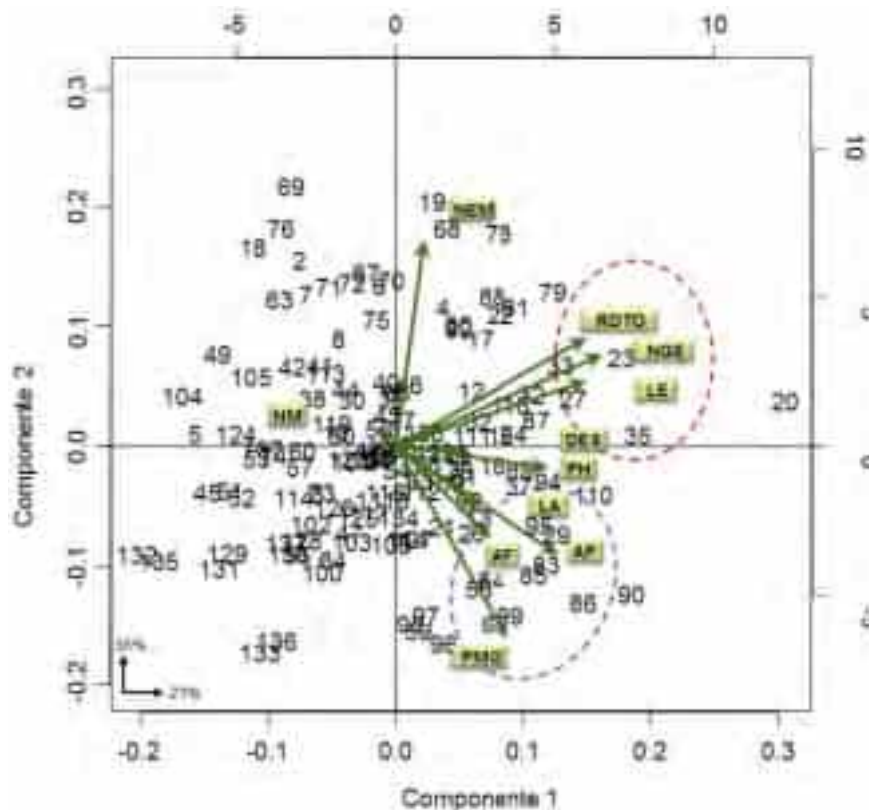


Figura 1. Biplot para componentes principales en el estudio de Evaluación Preliminar en una población de 138 genotipos de Trigo Harinero con aptitud para zonas semiáridas evaluadas en las localidades de Pocona, Sipe Sipe y Zudáñez de los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca respectivamente, 2011-2012.

Según al análisis multivariado las variables: RDTO, NGE y LE se encuentran muy correlacionadas y mejor explicadas. Como se puede observar éstas se encuentran alejadas del origen formando ángulos menores a 90°. Por lo que se puede decir que el rendimiento está en función de las variables NGE y LE, lo cual explica que a mayor número de granos y mayor es la longitud de espiga el rendimiento aumenta. Según este análisis se pudo identificar las líneas: L3098, L3099, L3021, L3096, L3097 y L3024 con rendimiento de grano de: 2979, 2930, 2915, 2879, 2848 y 2789 kg*ha⁻¹, estableciéndose así entre los genotipos más promisorios respecto al rendimiento se refiere, mostrándose significativamente de forma correlacionada. Estos resultados hacen que se identifique como genotipos con alto potencial de productividad el cual podría lograrse con base en el rendimiento apoyado en las variables anteriormente mencionadas. Quispe (2011), señala

que las variables que se encuentran correlacionadas son: altura de planta, peso de mil granos, longitud de espiga, rendimiento en grano, peso hectolítrico y número de granos por espiga.

El análisis de los componentes principales (Figura 2) muestra que el porcentaje de contribución de los dos primeros componentes a la variabilidad total fue un total de 35.5 %, lo cual ésta puede deberse a una baja correlación entre las variables evaluadas, el primero con el 20.5 % que está conformada por las variables: número de granos por espiga (NGE), rendimiento (RDTO), longitud de espiga (LE), altura de planta (AP), peso hectolítrico (PH) y peso de mil granos (PMG), y el segundo con 15.1 %; conformado por las variables: número de espigas por metro (NEM), peso de mil granos (PMG), altura de planta (AP), rendimiento (RDTO), área foliar (AF) y número de granos por espiga (NGE).

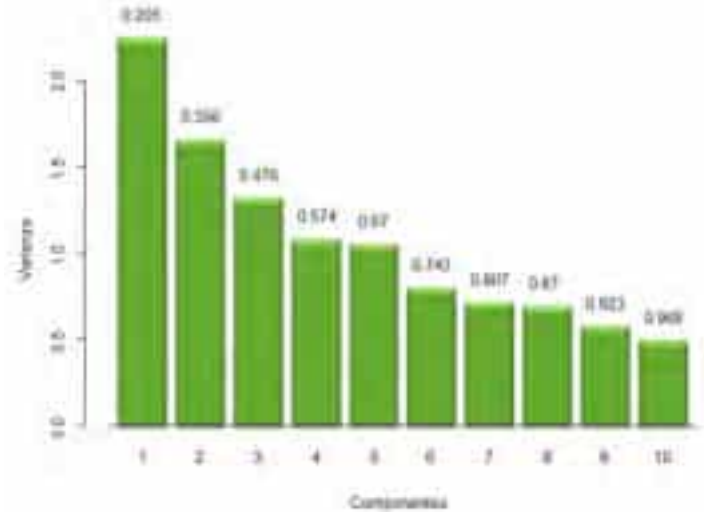


Figura 2. Gráfico de sedimentación de los componentes principales de acuerdo a varianza en el estudio de la Evaluación Preliminar en una población de 138 genotipos de Trigo Harinero con aptitud para zonas semiáridas evaluadas en las localidades de Pocona, Sipe Sipe y Zudáñez de los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca respectivamente, 2011-2012.

El grafico de sedimentación de componentes principales muestran los valores propios, confirmando que más allá de dos componentes (del componente 3 al 10), la tasa de ganancia de información asociada a la inclusión de un componente adicional se reduce significativamente, donde cada variable contribuye de forma no significativa a la formación de cada uno de los componentes principales (Figura 2).

Ranking de rendimiento: A continuación se muestra la estructuración de los resultados del rendimiento en grano, reflejadas en las 138 líneas en estudio, en función al comportamiento mostrado en esta campaña agrícola. Para la interpretación de los resultados obtenidos, se estructuró el posicionamiento de cada genotipo, reflejando así las 138 líneas de trigo con respecto al

rendimiento, a través del comportamiento individual frente a Tepoca (T89) como testigo, apreciando la variabilidad existente y mostrando el potencial genético en respuesta al contexto en el que se han desarrollado. En la Figura 3 se muestra en el extremo izquierdo los genotipos con mayor rendimiento las líneas: L3098, L3099, L3021, L3096, L3097 y L3024 con rendimiento de grano de: 2979, 2930, 2915, 2879, 2848 y 2789 kg*ha⁻¹. En el extremo derecho se muestran las líneas con menor rendimiento como los genotipos: L3137 y L3138 con rendimientos de 990 y 808,7 kg*ha⁻¹. La variedad Tepoca (T89) utilizado como testigo se ubica casi en el extremo derecho en cuanto a su rendimiento se refiere con 1616 kg*ha⁻¹, mostrando así líneas avanzadas de trigo del vivero 29 SAWSN en estudio con mayores rendimientos respecto al testigo comercial (Figura 3).

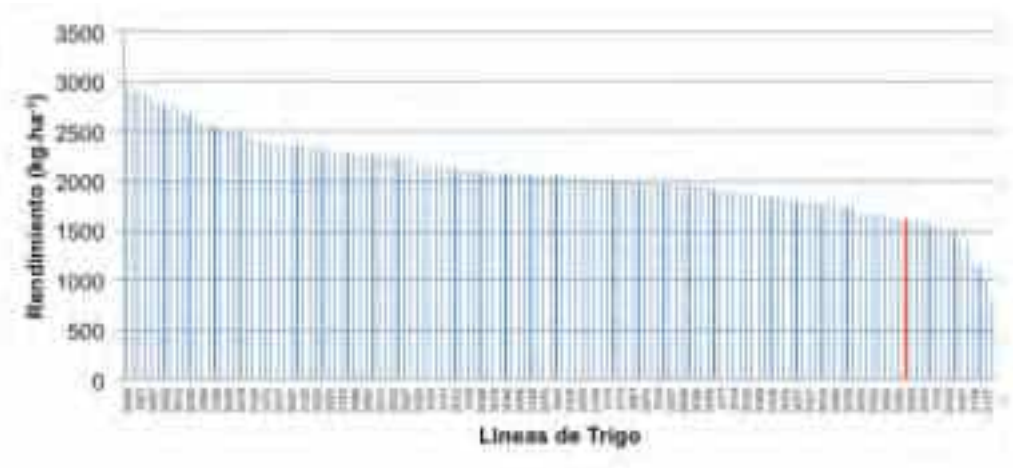


Figura 3. Ranking de rendimiento (Kg*ha⁻¹) en el estudio de la Evaluación Preliminar en una población de 138 genotipos de Trigo Harinero con aptitud para zonas semiáridas evaluadas en las localidades de Pocona, Sipe Sipe y Zudáñez de los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca respectivamente, 2011-2012.

Conclusiones

Los caracteres analizados sobre el comportamiento agronómico de los genotipos de trigo en estudio ante el testigo Tepoca T89, demostró diferencias significativas por la variabilidad genética mostrada ante los fenómenos climáticos y adversos, incidiendo así a la expresión fenotípica del germoplasma en estudio. Como resultado, el rendimiento en grano ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) mostrado por cada genotipo, lo cual fue un indicador fundamental para la identificación y selección de los mismos, teniendo en cuenta que éste es la resultante de los factores bióticos y abióticos presentadas durante el desarrollo del cultivo.

El método de análisis de componentes principales permitió identificar la correlación de las variables que más han contribuido a la productividad; fundamentalmente el rendimiento, número de granos por espiga y longitud de espiga.

Según el ranking de rendimiento del vivero 29 SAWSN, fueron identificados un primer grupo compuesto de genotipos con rendimientos mayor a $2500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Un segundo grupo con rendimientos que oscilan de 1.200 a $2.500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y el tercer grupo con rendimiento por debajo de $1.200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. La variedad Tepoca (T89) utilizado como testigo comercial y objeto de comparación de este estudio tomo una ubicación agrupado casi en el segundo y tercer grupo del ranking mostrado en la figura 3.

Referencias citadas

- Abanto, V., W.I., 2012. Guía metodológica en investigación científica. Facultad de Educación e Idiomas. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú, pp. 34.
- Acevedo, H. E., *et al.* 2000. Yield, yield components and drought resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.). pp. 2.
- Casanoves, F., Pla, L. y Di Rienzo, J. A., (eds.). 2011. Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica, pp. 65-69.
- De Dios, L. J.; Castillo, F. R.; Femia, M. P.; Martin, A. A. y Miranda, L. M. T. 2005. Introducción al manejo del programa SPSS 12.0., pp. 65.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; González, L. A.; Tablada, E. M.; Díaz, Del Pilar, M.; Robledo, C. W. y Balzarini, M. G., 2008. Estadísticas Para las Ciencias Agropecuarias. Séptima edición. Córdoba. Argentina, pp. 289:373
- Estrada, J. R., Medina H. T. y Roldan CH. A. 2006. Manual para caracterización In situ de cultivos nativos conceptos y procedimientos. Lima – Perú, pp. 23.
- Marza, F.; Butrón, R. y Chávez, S. 2013. Bioestadística aplicada a la experimentación agrícola. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF. Programa nacional de trigo. 1ra ed. La Paz, Bolivia. 180 p.
- Marza, F y Quispe, F. 2013. Guía Práctica Para El Investigador en Trigo. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria Y Forestal, INIAF. Programa Nacional de Trigo. 1ra Edición. La Paz, Bolivia.
- MDRyT. 2014. Presentación de Datos oficiales de Producción de Trigo. Programa Nacional Trigo. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. Boletín Informativo No. 4. P 5.
- Quispe, F. S. 2011. Habilidad de Adaptación y Productividad de 146 líneas avanzadas de trigo del Vivero Internacional del CIMMYT en el Altiplano Norte de Bolivia.

Identificación de líneas promisorias en trigos biofortificados en la Estación Experimental de San Benito

Carla Escobar, Félix Marza, Roberto Butrón y Félix Quispe

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

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo identificar líneas promisorias de trigo biofortificado. El material genético objeto de estudio fue 100 líneas avanzadas de trigo correspondientes al vivero 6 HPAN (*Harvest Plus Advance Nursery*), evaluados en la estación Experimental de San Benito del departamento de Cochabamba. La metodología de siembra de surco por entrada. Se evaluaron las variables: altura de planta (AP), número de plantas por metro (NPM), longitud de espiga (LE), densidad de espiga (DES), número de granos por espiga (NGE), tamaño de grano (TGR), tipo de grano (TG), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO). La evaluación se realizó mediante los análisis descriptivo y multivariado. Se encontraron coeficientes de correlación positivos altamente significantes ($p < 0,01$) para las variables longitud de espiga con número de granos por espiga (0,69), altura de planta con rendimiento (0,62), longitud de espiga con rendimiento (0,61), altura de planta con longitud de espiga (0,55) y altura de planta con granos por espiga (0,54). Los genotipos identificados por su alta productividad fueron las líneas L1, L98, L100 y L93 con rendimientos de 2.830, 2.270, 2.220 y 1.820 kg*ha⁻¹ respectivamente.

Palabras clave: Trigo, biofortificado, productividad, rendimiento.

Abstract

This research objective was to identify promising lines of biofortified wheat. The genetic material under study was 100 advanced lines of wheat for the nursery 6-HPAN (*Harvest Plus Advance Nursery*), evaluated at the Experimental Station San Benito of Cochabamba. The methodology applied was rows by entry. The variables evaluated were: Plant height (AP), number of plants per meter (NPM), spike length (LE) pin density (DES), number of grains per ear (NGE), grain size (TGR), type of grain (TG), weight of thousand kernels (PMG), test weight (PH) and grain yield (yield). The evaluation was performed using descriptive and multivariate analysis. Coefficients highly significant positive correlation ($p < 0.01$) for the variables spike length number of grains per spike (0.69) yield plant height (0.62), spike length were found to yield (0.61), plant height with spike length (0.55) and plant height with grain per spike (0.54). The genotypes identified by their high productivity were the L1, L98, L100 and L93 lines with yields of 2.830, 2.270, 2.220 and 1.820 kg*ha⁻¹ respectively.

Introducción

El trigo es uno de los cereales que más se cultiva en el mundo entero, es considerado como uno de los tres principales alimentos de primera necesidad por su alto consumo y por ser base fundamental de nuestra dieta alimentaria. El problema mundial y en particular de nuestro país es la desnutrición que continua siendo un problema latente, especialmente a la población de los niños y mujeres en edad fértil que no pueden defenderse por sí solos.

En Bolivia, la carencia de micronutrientes va produciendo desordenes silenciosos así como la anemia de alta prevalencia en nuestro país afectando a los menores de 5 años (59.8 %) y a mujeres en edad fértil (33 %) los cuales generalmente pertenecen a un estrato poblacional de escasos recursos (INE, 2003). A ello se adhiere el poco acceso de alimentos básicos que son afectados por los factores bióticos y abióticos además de la

poca disponibilidad de los mismos poniendo en descubierto la inseguridad alimentaria

Una de las estrategias para combatir a la deficiencia de micronutrientes es a través del fitomejoramiento convencional mejorando la calidad de las plantas efectuando la biofortificación (Allen, 2003). En este contexto el Programa Nacional del Trigo (PN-TRIGO) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), introdujo 100 líneas avanzadas de trigo correspondiente al vivero 6HPAN del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT) con el objetivo de identificar líneas promisorias de trigos biofortificados para componentes de rendimiento.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó en la campaña agrícola 2014-2015 en la Estación Experimental de San Benito del departamento de Cochabamba, Ubicadas geográficamente entre las coordenadas: 17° 37' 35" Latitud Sur y 65° 54' 14" Longitud Oeste, a una altitud de 2.710 m.s.n.m. Las características climáticas muestran que es una zona templada y fluctuaciones sustanciales en temperatura con frentes fríos del suroeste durante la época de otoño. La temperatura media es 16,4 °C y una precipitación promedio anual de 480 mm.

El material genético objeto de estudio consistió de 100 líneas de trigos biofortificados correspondientes al vivero 6 HPAN (Harvest Plus Advance Nursery) introducido por el Programa Nacional de Trigo, provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento en Maíz y Trigo (CIMMYT). La parcela se estableció surco por entrada de 4 m de largo con 0,25 m de ancho con una

densidad de siembra de 100 kg*ha⁻¹ y una fertilización de 50 Kg*ha⁻¹ con fosfato de amonio y 50 kg*ha⁻¹ de urea.

Las características registradas fueron: altura de planta (AP), número de plantas por metro (NPM), longitud de espiga (LE), densidad de espiga (DES), número de granos por espiga (NGE), tamaño de grano (TGR), tipo de grano (TG), peso de mil grano (PMG), peso hectolitrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO).

Los resultados fueron tabulados en hoja de cálculos Excel para luego estandarizarlos y conocer las medidas descriptivas en cuanto a medidas de distribución (sesgo y curtosis), tendencia central (media) y de dispersión (desviación estándar, varianza, rango mínimo y máximo) se refiere. Se realizó un análisis multivariado.

Resultados y discusión

Análisis descriptivo: El comportamiento de las características cuantitativas se registró dentro del margen normal en cuanto a las medidas de distribución, tendencia central con cierta variabilidad en algunas características de dispersión, por lo que los criterios para su análisis son satisfechos para un análisis inferencial.

El análisis descriptivo (Tabla 1) nos muestra una variabilidad en el comportamiento de los genotipos en estudio para el rendimiento (RDTO) y número de espigas por metro cuadrado (NEM). El rendimiento promedio fue de 907,8 Kg*ha⁻¹ con un rango de variación que se encuentra entre 300 y 2.830 Kg*ha⁻¹; donde las líneas de trigo L29 y L1 muestran un rendimiento muy bajo y el más alto respectivamente, con una desviación estándar fue de 456,0.

Tabla 1. Estadística descriptiva de variables agronómicas en el Estudio de Identificación de Líneas Promisorias de Trigos Biofortificados del vivero 6HPAN, evaluados en la Estación Experimental de San Benito del departamento de Cochabamba correspondiente a la campaña agrícola 2014-2015.

Variables	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Stand.	Varianza	Sesgo	Curtosis
AP	33	38	71	53,0	7,4	54,8	0,4	-0,4
NEM	496	128	624	297,8	112,1	12566,4	0,6	-0,2
NGE	18	24	42	32,9	4,2	17,7	0,1	-0,2
PMG	21	22	43	29,2	3,6	13,1	0,8	1,3
PH	17,4	60	77	71,5	3,0	9,0	-1,2	3,0
LE	4	6	10	7,2	1,0	0,9	0,2	-0,4
RDTO	2530	300	2830	907,8	456,0	207972,9	1,5	3,0

AP: altura de planta (cm); NEM: número de espigas por metro (unidades); LE: longitud de espiga (cm); NGE: número de granos por espiga (unidades); PMG: peso de mil granos (g); PH: peso hectolitrico (Kg*hl⁻¹) y RDTO: rendimiento en grano (Kg*ha⁻¹).

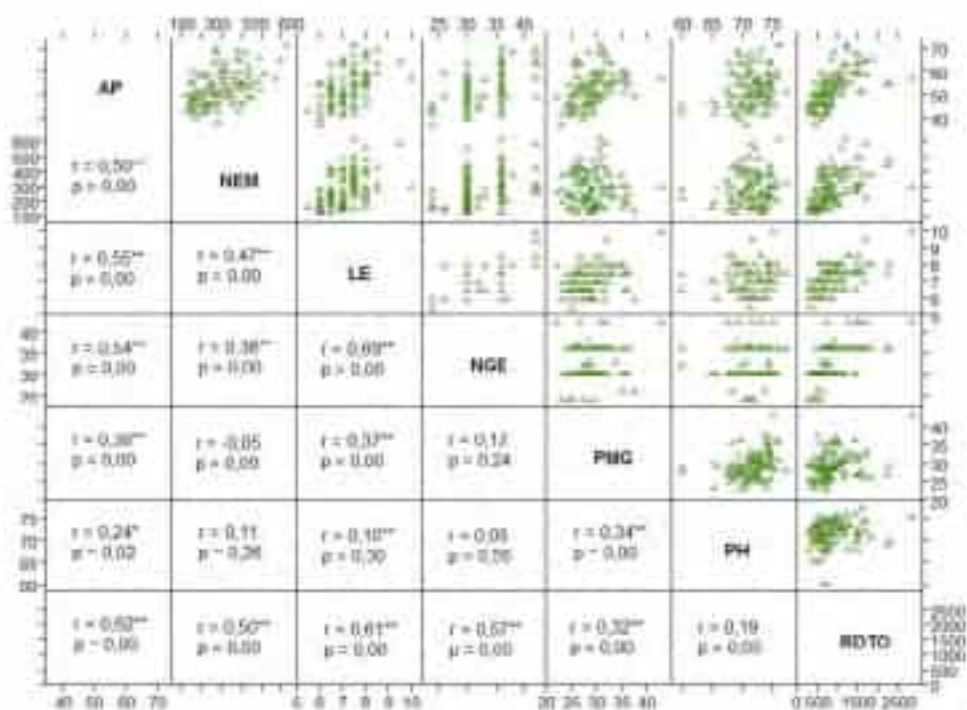
El número de espigas por metro cuadrado muestra una media de 297 espigas advirtiendo una amplia variabilidad donde las líneas de trigo L20 y L70 mostraron entre 128 y 624 espigas/m² respectivamente, con una desviación estándar de 112.

La altura media de planta fue de 53 cm, con un rango de variación de 38 cm la línea L31 y de 71 cm de altura la líneas de trigo L70, con una desviación estándar de 7,4. Arispe (2007), señala que la variabilidad que se presenta en cuanto al comportamiento de cada genotipo depende a la variedad al cual pertenece, a la época de siembra además del tipo de fertilidad del suelo y las condiciones ambientales en el cual se desarrolla las plantas.

Análisis de correlación múltiple (r)

El análisis de correlación múltiple (Figura 1) de variables cuantitativas muestra los grados de relación que existe entre las

diferentes características. Las variables longitud de espiga (LE) con número de granos por espiga (NGE) ($r = 0,69$), nos muestran una correlación positiva altamente significativo (1 %), lo cual nos indica que a mayor longitud de espiga mayor será el número de granos. Por otro lado se tiene al rendimiento (RDTO) que muestra correlación positiva con altura de planta (AP), longitud de espiga (LE), número de granos por espiga (NGE), número de espigas por metro (NEM) y peso de mil granos (PMG) (0,62), (0,61), (0,57), (0,50) y (0,32) respectivamente. Estos resultados obtenidos confirman trabajos previos realizados con líneas de trigo en el altiplano norte de Bolivia por Quispe (2011), el cual señala que el número de espiga por metro cuadrado (NEM) con longitud de espiga (LE), peso de mil granos (PMG) con peso hectolítrico (PH) y que el rendimiento (RDTO) se encuentran fuertemente correlacionados con peso de mil grano (PMG) y el peso hectolítrico (PH).



AP: Altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado; LE: longitud de espiga; NGE: número de granos por espiga; PMG: peso de mil granos; PH: peso hectolítrico y RDTO: rendimiento.

Figura 1. Correlación de variables cuantitativas en el estudio de Identificación de Líneas Promisorias en Trigos Biofortificados del vivero 6HPAN evaluadas en la Estación Experimental de San Benito del departamento de Cochabamba correspondiente a la campaña agrícola 2014-2015.

Análisis de componentes principales (ACP)

Este análisis permitió la transformación lineal de un conjunto de variables independientes expresando los resultados en valores y vectores propios (Rojas, 2003). El primer componente contribuyó con el 39 % de la varianza. El segundo componente principal aportó con el 15 %, ambos sumando el 54 % de la varianza total explicada. En el Biplot de la figura 2 se puede observar una primera asociación altamente correlacionada entre las variables: rendimiento (RDTO), altura de planta (AP) y longitud de espiga (LE) formando ángulos menores a 90° los cuales también se encuentran alejadas al origen por lo que se encuentran mejor representadas en este componente indicando claramente que cuando una de las variables aumenta las otras variables correlacionadas entre ellas también aumenta. En esta asociación

podemos destacar las líneas L70, L89 y L73, las mismas están influenciadas directamente por los diferentes componentes del rendimiento (Fraschina y Formica, 2003).

Otra correlación importante es aquella que formaron las variables de calidad física donde encontramos a peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y tamaño de grano (TG), destacándose las líneas: L2, L79, L90, L3 y L41 respectivamente. Finalmente podemos señalar que las variables número de granos por espiga (NGE), número de espigas por metro cuadrado (NEM) y densidad de la espiga (DES) se encuentran correlacionadas. Crossa (2002), nos confirma que el análisis Biplot es una herramienta que se utiliza para identificar los genotipos ideales en cuanto a rendimiento se refiere. Yan *et al.* (2001) menciona que la correlación entre los coeficientes del CP1 y los promedios de los genotipos, es baja cuando hay una fuerte y compleja interacción GE.

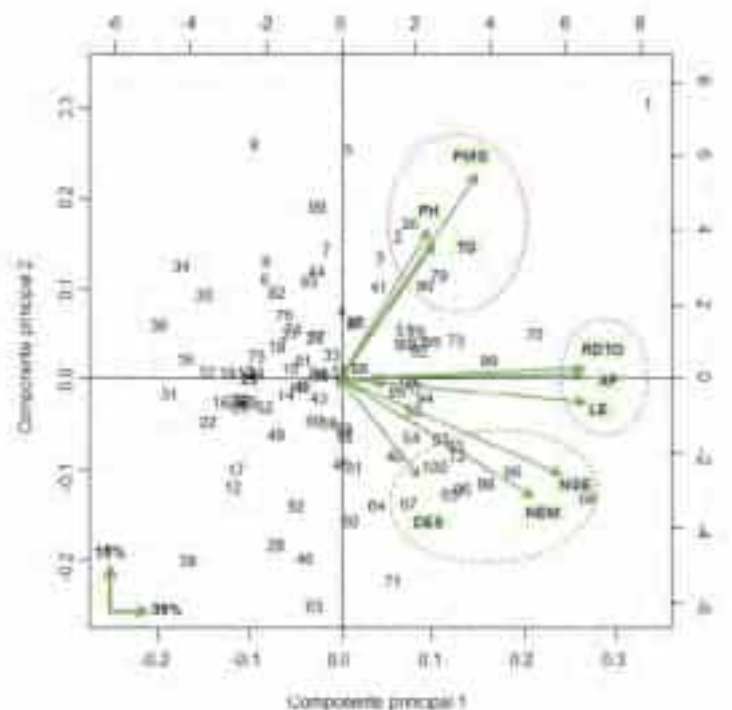


Figura 2. Biplot, en el estudio de Identificación de Líneas Promisorias en Trigos Biofortificados del vivero 6HPAN evaluadas la campaña agrícola 2014-2015. Las variables son: altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), número de granos por espiga (MGE), peso de 1000 granos (PMG), peso hectolítrico (PH), rendimiento (RDTO), densidad de espiga (DES) y tamaño de grano (TG).

Ranking de rendimiento

Se ha estructurado la posición de cada línea de trigo con respecto al rendimiento, observando la variabilidad existente mostrando el potencial genético de cada uno de los mismos en respuesta al contexto en la cual se ha establecido el ensayo.

El ranking de rendimiento estandarizado (Figura 3) muestra que 70 líneas presentan rendimientos menores a 1,0 t*ha⁻¹ y 30 líneas mayor a este valor, donde las líneas. L1, L98, L100, L93, L79, L68, L94, L51, L54, L92, L96, L66, L72, L95, L91, L80 y L78 presentan rendimientos de 1,3 a 2,8 t*ha⁻¹ respectivamente, los cuales superan el promedio nacional de 0,9 a 1,2 t*ha⁻¹ (INIAF, 2012).

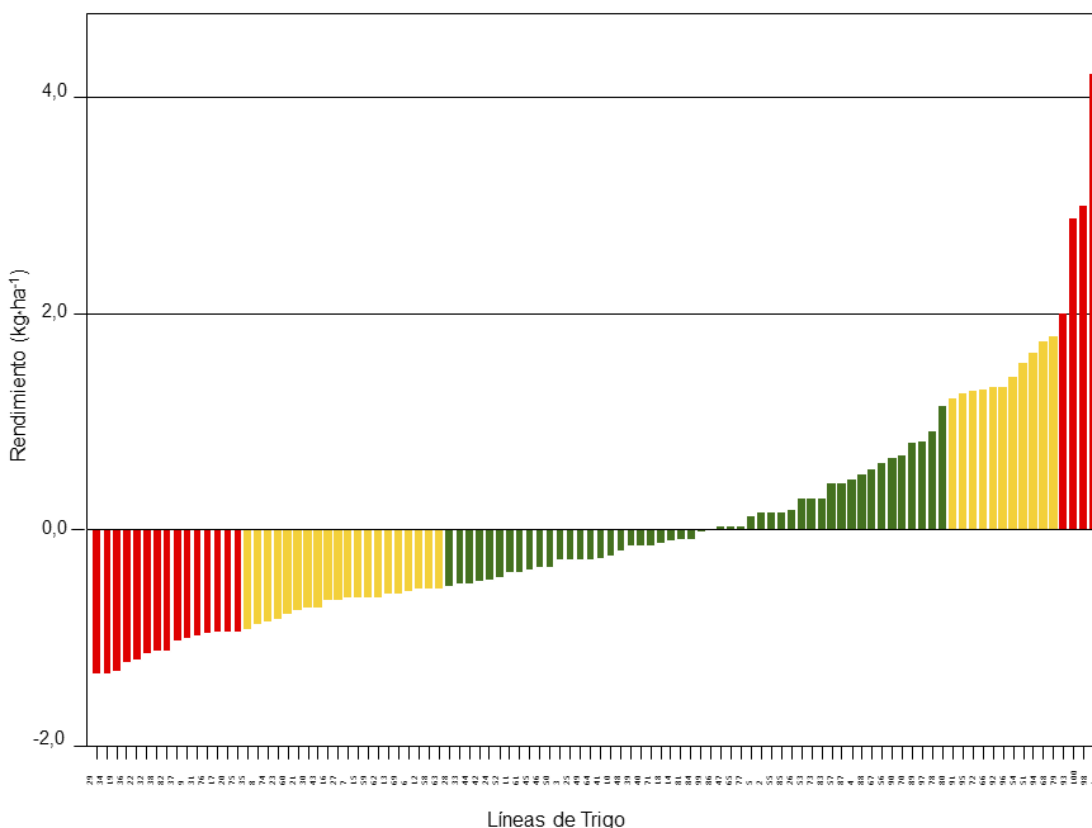


Figura 3. Ranking de rendimiento estandarizado en el estudio de Identificación de Líneas Promisorias en Trigos Biofortificados del vivero 6HPAN evaluadas la campaña agrícola 2014-2015.

Conclusión

Se ha identificado la correlación positiva altamente significativa (1 %) de las variables longitud de espiga (LE) con número de granos por espiga (NGE) ($r = 0,69$), lo cual indica que a mayor longitud de espiga mayor será el número de granos. Por otro lado el rendimiento (RDTO) muestra una correlación positiva con las variables: altura de planta (AP), longitud de espiga (LE), número de granos por espiga (NGE), número de espigas por metro (NEM) y peso de mil granos (PMG) (0,62), (0,61), (0,57), (0,50) y (0,32) respectivamente.

Según el análisis de componentes se ha deducido la primera asociación altamente correlacionada entre las variables: rendimiento (RDTO), altura de planta (AP) y longitud de espiga (LE), en esta relación podemos destacar las líneas L70, L89 y L73,

las mismas están influenciadas directamente por los diferentes componentes del rendimiento. Las variables: peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y tamaño de grano (TG), también se encuentran correlacionadas destacándose las líneas: L2, L79, L90, L3 y L41 respectivamente. Podemos señalar que las variables números de granos por espiga (NGE), número de espigas por metro cuadrado (NEM) y densidad de la espiga (DES) se encuentran correlacionadas, todas formando ángulos menores a 90° los cuales también se encuentran alejadas al origen por lo que se encuentran mejor representadas en este componente.

Finalmente, según el ranking de rendimiento se pudo seleccionar genotipos de trigo biofortificados a las líneas: L1, L98, L93, L79, L68, L94, L51, L54, L92 y L96 con rendimientos de 2.800, 2.270, 1.820, 1.720, 1.700, 1.650, 1.610, 1.550, 1.510, 1.510 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente.

Referencias citadas

- Allen LH. 2003. Interventions for micronutrient deficiency control in developing countries: past, present and future. 133(11S-II): 3875.
- Arispe, R. 2007. Determinación del potencial de rendimiento de líneas y variedades de trigo (*Triticum spp.*) bajo condiciones de la estación experimental Agrícola Saavedra (EEAS) – invierno 2005. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Cochabamba-Bolivia. 81p.
- Crossa, J., Cornelius, P.L. y Yan, W. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype x environment interaction. *Crop Science* 42, 619633.
- FAO. 2010. Consultado 13 de noviembre de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s17.htm>.
- Fischer, R. A. 2001. Selection traits for improving yield potential. Application of physiology in wheat breeding. México, D.F., CIMMYT. Pp. 89-92,95.
- Fraschina, J. y Formica, M. B. 2003. Fisiología del cultivo de trigo. Caracterización del crecimiento del grano de trigo. Instituto nacional de tecnología agropecuaria “Marco Juárez”, (INTA). Córdoba-Argentina. Pp. 40-42.
- Harvest Plus, 2004. Consultado 13 de noviembre de 2015. Disponible en: <http://www.harvestplus.org>.
- Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, (INIAF). 2012. Plan de implementación y Avances en el Programa Nacional de Trigo. La Paz, Bolivia. 40 p.
- Instituto Nacional de Estadística, (INE). 2004. Encuesta Nacional de Demografía y Salud 2003. p25-439.
- Latham M.C. 1997. Human nutrition in the developing world. Food and Nutrition Series N°29. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 1997. Consultado 16 de noviembre de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/W0073E/w0073E00>.
- Monserrate, F., Pachón, H., Hyman, G. & Vesga, A. 2009. Metodología para seleccionar zonas de intervención con cultivos biofortificados. *Rev. Panam Salud Pública*. 26 (5):419–28.
- Rojas W. 2003. Análisis de la variabilidad genética en quinua. En: Franco TL, Hidalgo R (eds.). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico N° 8, IPGRI, Cali, Colombia. pp. 27-39.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q. y Szlavnics, Z. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41, 19-25.

Correlación y coeficientes de sendero para variables agronómicas y componentes de rendimiento de trigo harinero

Santos Franklin, Félix Marza, Roberto Butrón y Félix Quispe

Programa Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF),
Av. Blanco Galindo km 5.5, Casilla 832, Cochabamba, Bolivia.
ssantoss19@hotmail.com

Resumen

La selección de genotipos de trigo harinero con alto potencial en términos de rendimiento es una de los aspectos importantes para observar la productividad. El presente estudio se planteó como objetivo, conocer la asociación de caracteres agronómicos e identificar componentes de rendimiento de 304 genotipos de trigo harinero. En los avances de mejoramiento genético es importante identificar la relación entre variables y componentes de rendimiento. El estudio se realizó en la Estación Experimental de San Benito (SEDAG, Cochabamba). Los genotipos pertenecen al vivero 47 IBWSN (Vivero Internacional de Selección de Trigo Harinero), proveniente del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El ensayo fue establecido en base a la estructura de surco por entrada, cada genotipo ocupó una hilera de 4 m de largo y 0,25 m entre hileras. En la investigación el rendimiento de grano tuvo correlaciones positivas significativas con características tales como peso de mil granos, número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga y altura de la planta. El análisis de coeficiente de Sendero identificó tres variables como componentes de rendimiento que son considerados como efectos directos.

Palabras clave: trigo, coeficientes de sendero, componentes de rendimiento.

Abstract

The selection of wheat genotypes with high potential in terms of yield performance is one of the important features to evaluate for productivity. Therefore, the objective of this study was to know the association of agronomic traits and yield components in 304 wheat genotypes. In breeding it is important to identify the relationship between agronomic traits and yield components. The study was conducted during the 2014-2015 crop season and it was carried out in the San Benito Experimental Station, property of the local government of Cochabamba. The wheat lines belong to the International Bread Wheat Screening Nursery (47 IBWSN) introduced from International Center for Maize and Wheat Improvement (CIMMYT). Each line was sowed in a row of 4 m long and 0.25 m between rows. In the study was found significant positive correlation between grain yield and traits like thousand kernel weight, number of grains per spike, number of spikes per square meter, spike length and plant height. The path coefficient analysis identified three variables as components of yield and considered as direct effects.

Introducción

El trigo es el cereal más importante entre los cultivos del mundo en términos de área y producción. Constituye un alimento básico para la humanidad y ocupa una posición única ya que es utilizado para la preparación de una gran diversidad de productos (Khan *et al.* 2007; Aslam *et al.* 2014; Allahverdiyev *et al.* 2015). En los programas de mejoramiento el objetivo principal es lograr máximos rendimientos y en el cultivo de trigo es desarrollar cultivares con alto potencial productivo.

En Bolivia, el trigo es un alimento de primera necesidad para la población. El pan y los fideos se constituyen en los alimentos de mayor consumo en los hogares de bajos ingresos económicos. Los principales tipos de consumo del trigo a nivel nacional son: harina para elaboración de pan (72%), pastas y fideos (24%), galletería otros (4%) (INIAF 2012). Una revisión de los últimos diez años sobre los índices productivos de trigo en el país, no muestra significativas tendencias de incremento, por lo que fortalecer el proceso de generación tecnológica como uno de los componentes clave para dinamizar la cadena de valor, es aún una tarea muy importante.

La variabilidad genética, la introducción de nuevos genotipos, así como la generación de nuevas técnicas de manejo, tienden a incrementar significativamente la productividad en los cultivos (Kaukab *et al.* 2014; Villafaña *et al.* 2014). Por lo tanto, es necesario identificar genotipos con alto potencial en producción de grano. Siendo el rendimiento una de las variables más complejas debido a la composición de genes múltiples, es esencial tener conocimiento de la asociación de las variables agronómicas e identificar componentes de productividad. El objetivo del presente estudio es conocer la asociación de caracteres agronómicos e identificar componentes de rendimiento de 304 genotipos de trigo harinero, bajo los análisis de coeficientes de sendero y correlación múltiple, y así contribuir a la identificación y selección de genotipos como líneas elite y en un mediano plazo registrar como un cultivar promisorio con potencial alto potencial productivo.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental de San Benito SEDAG, ubicado en el municipio de San Benito (17° 30' latitud Sur, y 65° 53' longitud Oeste, a 2715 m.s.n.m.), provincia Punata, departamento de Cochabamba, durante la campaña agrícola 2014-2015. Las condiciones agrometeorológicas del sitio experimental corresponden a un ambiente templado, donde la temperatura anual oscila entre 14,8 a 27,8 °C. La época del año con temperaturas altas se registra en los

meses de octubre, noviembre y diciembre; las mínimas, en los meses de junio y julio (1,51 °C promedio). En general, el municipio está clasificado como una zona semiárida.

Se evaluaron 304 genotipos pertenecientes al vivero internacional de selección de trigo harinero, provenientes del CIMMYT. El estudio se estableció el 26 de diciembre de 2014, en base a un sistema de siembra convencional y sin riego. La siembra fue realizada en surcos por entrada a 0,25 m de separación y a una longitud de 4 m de hilera con una densidad de siembra de 100 kg*ha⁻¹. Para controlar las malezas de hoja angosta se aplicó 180 l*ha⁻¹ de Stadise y 2,5 l*ha⁻¹ de 2,4-D para hoja ancha. Durante la implementación del ensayo se hizo una fertilización de 50 kg*ha⁻¹ de urea y 50 kg*ha⁻¹ de fosfato-di-amónico.

Modelo de sendero: considera un sistema donde Y está definido por los componentes X, Z y W, los efectos directos de cada componente están definidos por los valores que asuman PXY, PZY y PWY en el siguiente sistema de ecuaciones: $r_{XY} = PXY + r_{XW} * PWY + r_{XZ} * PZY$; $r_{WY} = r_{XW} * PXY + PWY + r_{WZ} * PZY$ y $r_{ZY} = r_{XZ} * PXY + r_{ZW} * PWY + PZY$.

Para el análisis descriptivo, regresión múltiple (pasos sucesivos), correlación múltiple y coeficientes de sendero se utilizó el software estadístico SPSS y R. Las variables evaluadas fueron: AP (altura de planta), NEM (número de espigas por metro), LE (longitud de espiga), DES (densidad de espiga), NGE (número de granos por espiga), TGR (tipo de grano), TG (tamaño de grano), PMG (peso de mil granos), PH (peso hectolítrico) y RDTO (rendimiento).

Resultados y discusión

Los datos originados a partir de las observaciones del comportamiento de la población expresan las características de variabilidad intrínseca a la misma. En la presentación de estadística descriptiva (tabla 1) se observa variaciones extremas en variables de componentes de rendimiento, agronómicas y de calidad. Señalar que los criterios estadísticos de normalidad se encuentran en el marco de lo esperado para una población de líneas cuyo propósito central es la de inyectar la variabilidad en la expresión de sus caracteres. La aplicación de los análisis subsiguientes se espera sean robustos en la aplicación de los modelos respectivos dada esta característica. Variables como altura de planta, número de espigas por metro cuadrado, número de granos por espiga y peso de mil granos, presenta expresiones de amplia variabilidad que hacen pre-asumir la identificación de genotipos muy promisorios en términos de productividad.

Tabla 1. Estadística descriptiva para las variables AP (altura de planta), NEM (número de espigas por metro), LE (longitud de espiga), DES (densidad de espiga), NGE (número de granos por espiga), TGR (tipo de grano), TG (tamaño de grano), PMG (peso de mil granos), PH (peso hectolítrico) y RDTO (rendimiento), correspondiente a 304 genotipos de trigo harinero llevado a cabo en la localidad de San Benito-Cochabamba, durante la campaña agrícola 2014-2015.

Variables	Estadísticos descriptivos					
	Media	DE	Sesgo	Curtosis	Mínimo	Máximo
AP(cm)	69,73	13,76	0,27	-1,01	42	101
NEM	295	125,55	0,65	-0,46	96	660
LE (cm)	8	1,08	0,09	-0,56	6	11
DES*	3	0,45	0,56	1,21	2	4
NGE	37	6,26	0,08	-0,81	24	48
TGR [‡]	3	0,65	0,61	-0,07	2	5
TG [‡]	4	0,96	0,62	-1,63	3	5
PMG (g)	41,78	5,94	0,05	-0,44	28	58
PH (kg*hl ⁻¹)	77,17	2,26	-0,05	2,61	70	89
RDTO (kg*ha ⁻¹)	3373	2190,92	0,85	-0,11	230	9820

€ 2=chupado, 3=casi lleno, 4=lleno y 5=muy lleno
¥ 3=grano mediano (6-7 mm), 5=grano grande (>7 mm)
ψ 2=laxa, 3=moderadamente compacta, 4=compacta
£ Desviación estándar

Los 304 genotipos estudiados mostraron un rendimiento promedio de 3373 kg*ha⁻¹, con una desviación estándar de 2190,92 kg*ha⁻¹. Para las características del ambiente en el que se realizó la investigación (representativa del área triguera) estos valores son muy promisorios frente a los resultados que se suelen alcan-

zar (1800 kg*ha⁻¹). Considerando que las condiciones ambientales fueron típicas en el marco de los histórico, que la expresión del 5% superior de la población haya alcanzado 7692 kg*ha⁻¹ constituye un resultado excepcional para los propósitos que se persigue con esta población.

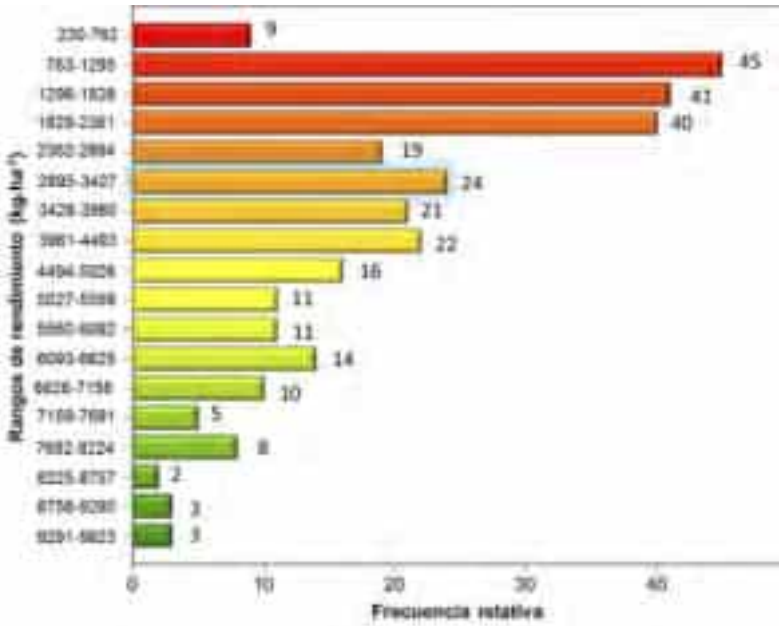


Figura 1. Valoración de rangos para la variable rendimiento de 304 genotipos de trigo harinero, estudio conducido en la localidad de San Benito-Cochabamba, durante la campaña agrícola 2014-2015.

Relación lineal múltiple para rendimiento. El procedimiento de pasos sucesivos fue empleado para determinar las variables responsables de mayor variabilidad en rendimiento. En cada etapa, una variable fue adicionada a la ecuación de regresión. La variable adicionada fue una que indujo la mayor reducción en el error de la suma de cuadrados. Esta fue también la variable que tuvo la más alta correlación parcial con la variable dependiente. A través de la metodología de regresión por pasos sucesivos, se identificó un modelo parsimonioso a través de una selección de variables mediante la adición sucesiva o eliminación basada únicamente en su grado de relación lineal en base a criterios de F de Fisher (p-valor de 0,05 para entrada y 0,10 de salida). Los

resultados mostraron que la altura de planta, número de espigas por metro cuadrado y peso de mil granos con un coeficiente de determinación de 79,4 % explican la mayor proporción de la variabilidad existente para la variable en cuestión (Figura 2). Por lo tanto, el modelo de estimación de productividad en grano de trigo harinero obedece a la siguiente ecuación:

$$RDTO = - 6563,610 + 71,25(AP) + 6,57(NEM) + 72,55(PMG)$$

El rendimiento es un carácter complejo determinado por varios componentes y está condicionado por diferentes factores genéticos y ambientales (Cuéllar 2001).

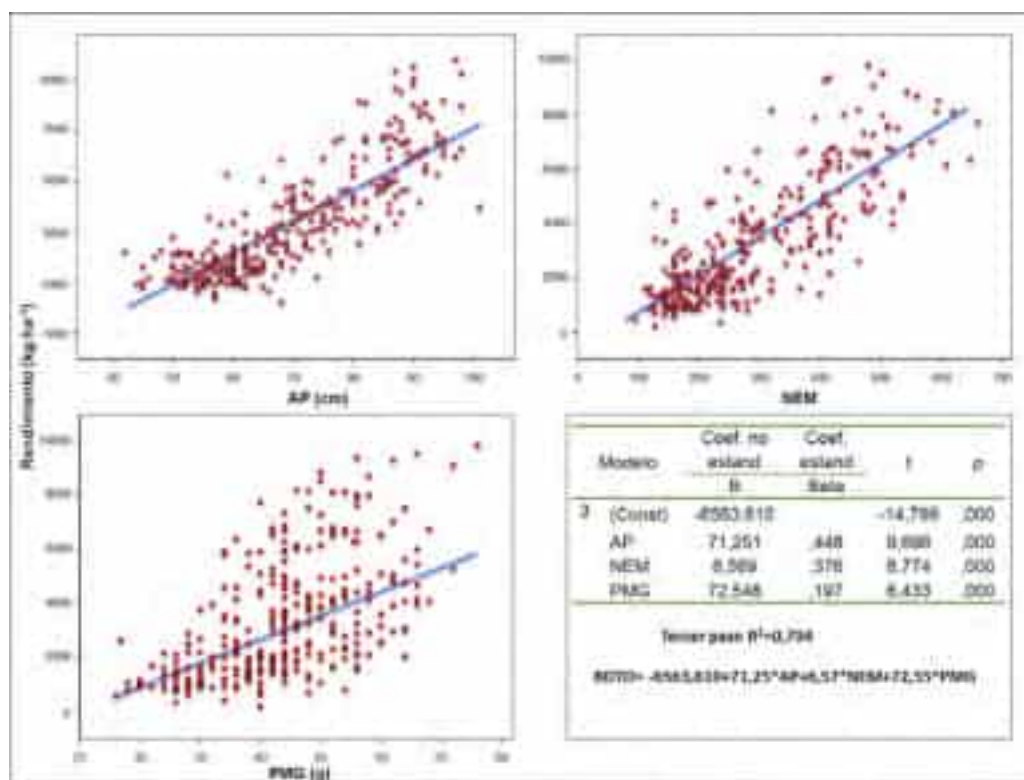


Figura 2. análisis de regresión múltiple, método pasos sucesivos para la variable dependiente rendimiento; las variables seleccionadas son altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM) y peso de mil granos (PMG) de trigo harinero en el estudio llevado a cabo en la localidad de San Benito-Cochabamba, durante la campaña agrícola 2014-2015.

La variable rendimiento está altamente relacionada con altura de planta, número de espigas por metro cuadrado, número de granos por espiga, longitud de espiga y peso de mil granos ($r=0,846, 0,805, 0,676, 0,581, \text{ y } 0,569$ respectivamente); resultados similares fueron reportados por Abderrahmane *et al.* (2013); Longitud de espiga esta correlacionada positivamente con número de granos por espiga (0,764) y altura de planta con número de espigas por metro cuadrado (0,791) (Figura 3).

La correlación altamente significativa corresponde a longitud de espiga y número de granos por espiga ($r=0,764$) versus rendimiento. Otra de las relaciones altamente significativas co-

responde a tipo de grano con peso de mil granos y esta última variable también relacionada con rendimiento.

La correlación positiva explica la fuerza y la dirección lineal que se establece entre cada par de variables aleatorias (Triola 2009). La producción en grano está relacionada con altura de planta, número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga, número de granos por espiga y peso de mil granos. Khokhar *et al.* (2010); Aycicek y Yildirim (2006), afirman esta dependencia positiva de rendimiento y peso de mil granos en la investigación que realizaron aunque no fue significativo.

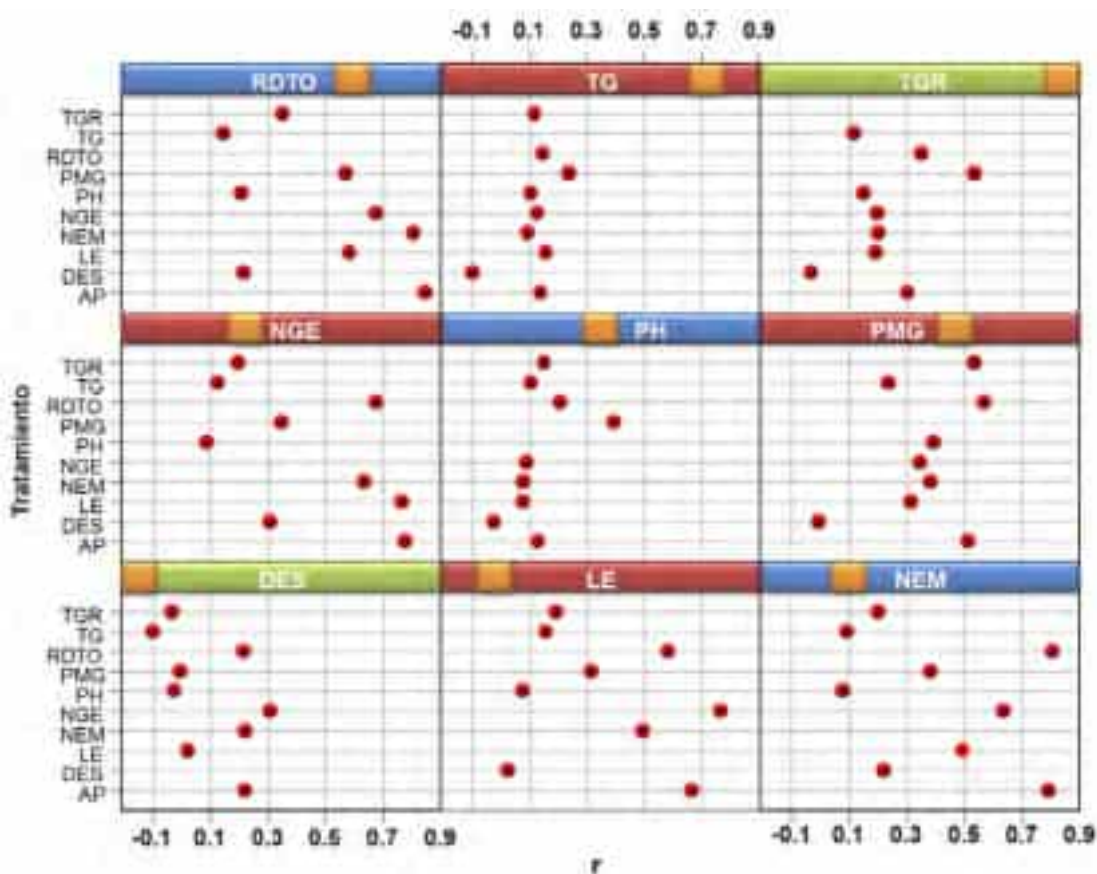


Figura 3. Multipanel de coeficientes de correlación entre los rasgos relacionados con el rendimiento. Los rasgos son rendimiento (RDTO), tipo de grano (TGR), tamaño de grano (TG), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH), número de granos por espiga (NGE), número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), densidad de espiga (DES) y altura de planta (AP) de trigo harinero llevado a cabo en la localidad de San Benito-Cochabamba, durante la campaña agrícola 2014-2015.

A veces las correlaciones simples entre los componentes del rendimiento no son muy informativas respecto de la relación funcional entre componentes de distinta jerarquía. La metodología del análisis de coeficientes de sendero, proporciona mejoras en las aproximaciones y que biológicamente puede ser más explicativa.

Coefficientes de sendero. La variable rendimiento y otras ocho de predicción fueron sometidas al análisis de coeficientes de sendero. Producto del análisis, se logró identificar tres variables con efecto directo sobre la variable dependiente rendimiento. Peso de mil granos, altura de planta y número de espigas por metro cuadrado resultaron siendo las de mayor influencia sobre la variable dependiente (con 72,55, 71,25 y 6,57) respectivamente, que resultaron altamente significativas. Resultados con

la misma tendencia fueron reportados por Aycicek y Yildirim (2006) e Islam *et al.* (2015).

El efecto indirecto de mayor influencia fue altura de planta (7,22) a través de número de espigas por metro cuadrado, seguida por tipo de grano (3,39) sobre peso de mil granos. Asimismo, longitud de espiga (2,17) y número de granos por espiga (1,419) por medio de altura de planta. La variable peso hectolítrico (0,74) y tamaño de grano (0,73), tuvo un resultado indirecto altamente significativo en vías de peso de mil granos. La varianza más alta fue 39,04 para número de granos por espiga. La dependencia entre número de granos por espiga, longitud de espiga y tamaño de grano es estadísticamente significativa, como también, longitud de espiga con tipo de grano.

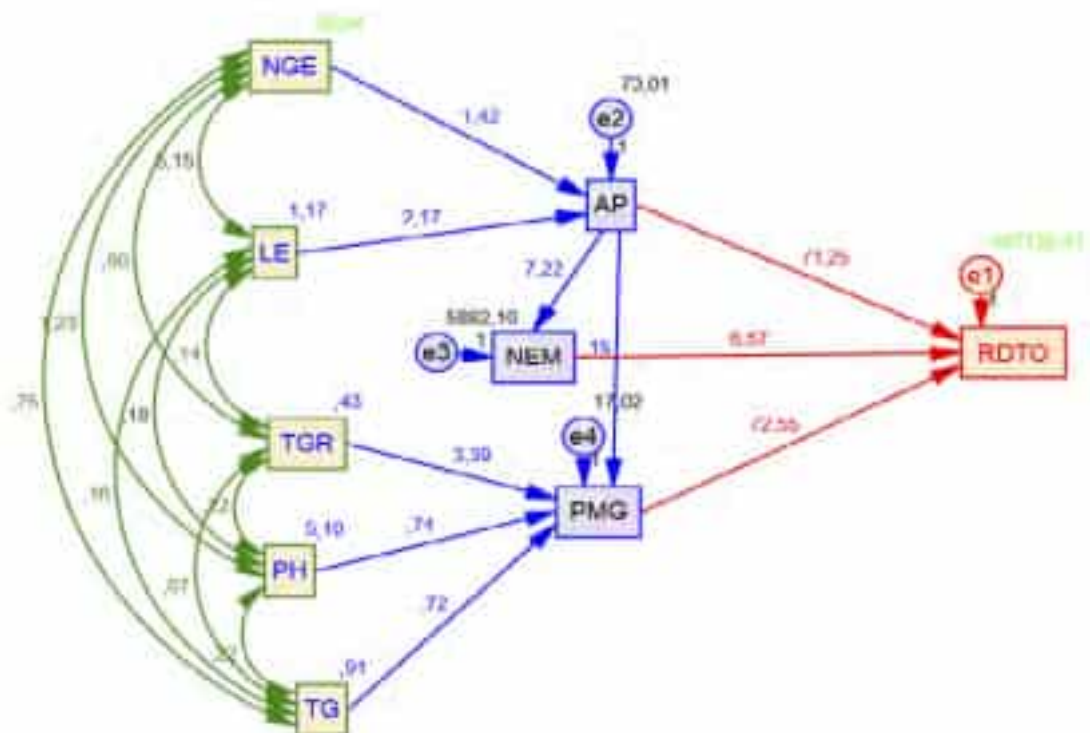


Figura 4. Path analysis (coeficientes de sendero) para rendimiento (RDTO), las variables directas son altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM), peso de mil granos (PMG) y como indirectas son número de granos por espiga (NGE), longitud de espiga (LE), tipo de grano (TGR), peso hectolítico (PH) y tamaño de grano (TG) correspondiente a 304 genotipos de trigo harinero llevado a cabo en la localidad de San Benito-Cochabamba, durante la campaña agrícola 2014-2015.

Conclusión

El rendimiento de grano tuvo correlaciones significativas con características tales como peso de mil granos, número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga y la altura de la planta. Mientras, el método regresión por pasos seleccionó a la altura de planta, número de espigas por metro cuadrado y peso de mil granos, donde estas variables son consideradas como componentes de productividad en esta investigación.

El análisis de coeficiente de sendero identificó tres variables como componentes de productividad, que son considerados

como efectos directos. Por lo tanto, las características de altura de planta, número de espigas por metro cuadrado y peso de mil granos se pueden utilizar como criterios de selección para aumentar el rendimiento en grano de trigo harinero. Asimismo, las que influyen indirectamente a la producción son: número de granos por espiga, longitud de espiga, tipo de grano, tamaño de grano y peso hectolítico, las cuales deben ser consideradas en los procesos de selección y mejoramiento. Cabe mencionar que lo anterior es una aproximación abreviada de un conjunto de procesos complejos del cultivo. El estudio contribuyó al conocimiento de las relaciones funcionales entre los componentes de rendimiento y se encuentra en línea con la eficiencia de la selección en el programa nacional de trigo.

Referencias citadas

- Abderrahmane, H;Zine-El-Abidine, F;Hamenna, B;Ammar, B. 2013. Correlation, Path Analysis and Stepwise Regression in Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf.) under Rainfed Conditions. Journal of Agriculture and Sustainability. 3(2): 122-131.
- Abdus, SK;Muhammad, A;Muhammad, AA. 2003. A Correlation and Path Coefficient Analysis for Some Yield Components in Bread Wheat. Asian Journal of Plant Science. 2(8): 582-584.
- Allahverdiyev, TI;Talal, JM;Huseynova, IM;Aliyev, JA. 2015. Effect of drought stress on some physiological parameters, yield, yield components of durum (*Triticum durum* desf.) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheat genotypes. Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics. 1(1): 50-62.
- Aslam, R;Munawar, M;Salam, A. 2014. Genetic architecture of yield components accessed through line x tester analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.). Universal Journal of Plant Science. 2(5): 93-96.
- Aycicek, M;Yildirim, T. 2006. Path coefficient analysis of yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Pak. J. Bot. 38(2): 417-424.
- Cuéllar, H. 2001. Evaluación de un grupo elite de genotipos de trigo y triticale a través de análisis de estabilidad en el altiplano potosino. Tesis Doctor en Ciencias Agropecuarias. San Luis Potosí-México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí-Facultad de Agronomía. 104 p.
- INE, (Instituto Nacional de Estadística). 2015. Rendimiento promedio del grano de trigo, perteneciente a la campaña agrícola 2014-2015. Bolivia. Instituto Nacional de Estadística-Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Disponible en <http://www.ine.gob.bo/indice/indice.aspx?d1=0201&d2=6>
- INE, (Instituto Nacional de Estadística).;MDRyT, (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras). 2015. Superficie, producción y Rendimiento promedio del grano de trigo, perteneciente a las campañas agrícolas 2005 a 2015. Bolivia. INE-Observatorio Agroambiental. Consultado 26 de diciembre de 2015. Disponible en <http://www.ine.gob.bo>
- INIAF, (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). 2012. Plan de implementación y avances en el programa nacional de trigo. La Paz-Bolivia. Programa Nacional de Trigo 40 p.
- Islam, MA;Raffi, SA;Hossain, MAa;Hasan, AK. 2015. Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield related traits in some promising early to medium duration rice advanced lines. International Journal of Experimental Agriculture. 5(1): 8-12.
- Kaukab, S;Saeed, MS;Rehman, A. 2014. Genetic analysis for yield and some yield traits in spring wheat. Universal Journal of Agricultural Research. 2(7): 272-277.
- Khan, MI;Mohammad, T;Subhan, F;Amin, M;Shah, ST. 2007. Agronomic evaluation of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for terminal heat stress. Pak. J. Bot. 39(7): 2415-2425.
- Khokhar, MI;Hussain, M;Zulkiffal, M;Ahmad, N;Sabar, W. 2010. Correlation and path analysis for yield and yield contributing characters in wheat (*Triticum aestivum* L.). African Journal of Plant Science. 4(11): 464-466.
- R Core Team. 2015. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing. Disponible en <https://www.R-project.org/>
- Triola, MF. 2009. Estadística. Trad. LE Pineda. Ed. R Fuerte. 10ma ed. Mexico. PEARSON-Educación. 904 p.
- Villafaña, TL;Morales, EJ;Estrada, G;Martinez, CG. 2014. Determinantes ecofisiológicos del rendimiento en tres cultivares de trigo en función y fraccionamiento del nitrógeno. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 5(3): 405-419.

Identificación de genotipos de trigo para zonas semiáridas del área tradicional de Bolivia

Gonzalo Quispe, Roberto Butrón, Félix Marza; Félix Quispe,
Benjamín Huallpa, Gilberto Gutiérrez

gonzalo24052011@hotmail.com

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

Resumen

Con la finalidad de seleccionar e identificar genotipos de alto rendimiento y estables en amplio rango de ambientes, se realizó la introducción de germoplasma del CIMMYT del vivero 20th SAWYT durante la gestión 2012, este material genético fue evaluado en 20 localidades del área tradicional por el Programa Nacional de Trigo durante un periodo de 3 años (2012-2015). Se registraron alrededor de 20 variables entre cualitativas y cuantitativas que permitieron conocer los atributos de cada línea. El análisis estadístico se llevó aplicando métodos univariados y multivariados específicamente GGEBiplot (Yan *et al.*, 2002), que tiene la habilidad de agrupar las localidades en mega ambientes y de mostrar el patrón de comportamiento de los mejores cultivares para cada localidad. Se identificaron para el segundo año 15 líneas que expresaron superioridad en rendimiento medio de grano en relación a testigo Tepoca T89 a lo largo de las 15 localidades, entre ellas: L311, L333, L327, L347, L313, L329, L339, L321, L331, L307, L315, L324, L322 y L334. Posteriormente en la evaluación de los 15 seleccionados durante la campaña agrícola 2014-2015 tres líneas del total, mostraron un rendimiento superior en ambientes de baja y alta productividad de las 12 localidades. La L313 tiene una amplia estabilidad y rendimientos altos y esta seguida por la L327 L315 y L333 que mostraron un comportamiento favorable en zonas de altura donde el cultivo de trigo es muy restringido por las condiciones ambientales.

Palabras Claves: genotipo ideal, cultivar vértice e interacción genotipo ambiente

Abstract

In order to select and identify staple genotypes with high performance in a wide range of environments, the 20 SAWYT nursery was introduced from CIMMYT. These lines were studied in 20 locations in the traditional area by the National Wheat Program for a period of three years (2012-2015). About 20 variables between qualitative and quantitative were registered which allowed to know the attributes of each line. The univariate and multivariate method of GGEBiplot was applied (Yan *et al.*, 2002). The last one has the ability to group locations and to show the pattern of behavior of the best cultivars for each environment. During the second year of evaluation, among the 15 lines, the following ones expressed a superiority in grain yield to the check Tepoca T89, such as: L311, L333, L327, L347, L313, L329, L339, L321, L331, L307, L315, L324, L322 and L334. For the 15 evaluated lines in 2014-2015, three of them showed superior performance in environments of low and high productivity. The L313 has an outstanding stability and high yields, followed by the L327 and L315 which showed a favorable trend in areas where wheat farming is restricted by environmental conditions.

Introducción

El trigo (*Triticum aestivum*, L.) es una especie anual que se cultiva bajo condiciones semiáridas y bajo riego, en nuestro país se constituye en la principal fuente de energía de la dieta alimentaria. Su cultivo se diversifica desde pequeñas áreas en el altiplano hasta extensas áreas tropicales (Herbas, 2008). INE (2011), indica que en Bolivia más del 80 % de la superficie cultivada es

a secano con rendimientos que oscilan entre 0.9 a 1.6 t*ha⁻¹ y la producción solamente satisface el 30% de la demanda nacional (INIAF, 2012). Este patrón de producción puede ser modificado priorizando el mejoramiento de trigo para dichos ambiente en el área tradicional y tropical con la generación de variedades de alto rendimiento y amplio rango de adaptación (Herbas, 2008).

Es fundamental evaluar los cultivares en ambientes múltiples para determinar su estabilidad fenotípica y su interacción con el medio ambiente, los mismos pueden ser detectados con herramientas estadísticas multivariadas en los programas de fitomejoramiento, los cuales pretenden desarrollar variedades estables en su rendimiento, carácter que es de interés para los productores cuando adoptan cultivares de reciente liberación (Condon *et al.*, 2004). En la identificación y selección de cultivares estables varios modelos matemáticos han sido desarrollados y las más utilizadas son modelos univariados que usan la regresión lineal (Eberhart y Russell, 1966) y multivariados como el GGEbiplot (Yan *et al.*, 2000). Técnica que es asistida por gráficos que visualizan el patrón de comportamiento de los genotipos respecto a la discriminación y representatividad de los ambientes en evaluación (Rodríguez *et al.* 2002).

El Programa Nacional de Trigo del INIAF, realizó la introducción de 50 líneas de trigo harinero entre ellos un testigo del vivero 20 SAWYT del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). El mismo fue evaluado en la Red Nacional de Ensayos distribuidos en los nichos trigueros del área tradicional y parte de la región tropical.

El objetivo del presente trabajo fue identificar genotipos de trigo de alto rendimiento y amplio rango de adaptación de 50 líneas avanzadas del vivero 20th SAWYT introducidas del CIM-

MYT evaluadas en 22 localidades del área tradicional de Bolivia durante las gestiones agrícolas 2012 a 2015.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en 15 localidades tradicionales de producción de trigo durante tres campañas agrícolas 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015 (tabla 1). El material genético consta de 50 líneas avanzadas del vivero 20thSAWYT (Ensayo de rendimiento para zonas semiáridas) que fue introducido del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La siembra inicialmente fue establecida en un diseño experimental alfa látice (Patterson y Williams, 1976). Posteriormente en la siguiente campaña, 15 líneas élites fueron seleccionadas con características de alto potencial de rendimiento, con amplio rango de adaptación y además tolerantes a factores adversos bióticos y abióticos presentes en dichos ambientes. Estas fueron establecidas en diseño de bloques completamente al azar con tres réplicas. Para ambas campañas el testigo fue la variedad Tepoca T89 (L301). La densidad de siembra fue de 100 kg*ha⁻¹, sembrados en surcos de 4 metros de ancho y 25 cm entre surcos. Se aplicó 100 kg de fertilizante compuesto de 50 kg de 46-00-00 y 50 kg 18-46-00. Las malezas de hoja ancha se controlaron con herbicidas a base de Clodinafop (Topik) y malezas de hoja angosta con Metsulfuron-metil (Ally).

Tabla 1. Localidades del área tradicional y área tropical donde se realizaron ensayos de rendimiento de trigo harinero, en las gestiones agrícolas 2012 a 2015.

Id	Departamento	Localidad	Años de prueba (ensayo)		
			2012-2013	2013-2014	2014-2015
1	Cochabamba	E. E. CNPSH	*	*	
2	Tarija	Carachimayo		*	
3	Cochabamba	Chullpa Chullpa bajo		*	
4	Chuquisaca	Incahuasi		*	*
5	Santa Cruz	Quirusillas	*	*	
6	Potosí	Ravelo		*	
7	Chuquisaca	Redención		*	*
8	Potosí	Rumi Wiñasca		*	
9	Cochabamba	E. E. Tarata		*	*
10	Cochabamba	Uyaxtipunta		*	
11	Potosí	Yamparaez		*	*
12	Tarija	Yesera Norte		*	
13	Cochabamba	Yuraj Molino		*	
14	Potosí	Zudáñez		*	*
15	Cochabamba	Collpana			*
16	Cochabamba	E.E.San Benito		*	*
18	Cochabamba	Totora			*
19	Potosí	Arapampa			*
20	Cochabamba	Arani			*
21	Oruro	E.E. Condoriri			*
22	La Paz	E.E. Kallutaca			*

Para la selección e identificación de cultivares estables y superiores en rendimiento de grano, se realizó el análisis con métodos univariados y multivariados específicamente análisis de componentes principales, a través de gráficos de doble entrada para agrupar las localidades en mega ambientes y de mostrar el patrón de comportamiento de los mejores cultivares para cada localidad y los que tienen adaptabilidad general y específica (Yan et al., 2002).

Resultados y discusión

En la figura 1 se presenta el gráfico GGEBiplot correspondiente a la campaña agrícola (2013-2014) que ilustra los dos pri-

meros ejes del componente principal (PC1 y PC2) que explica el 34.17% de la varianza y se puede observar a los cultivares vértices que forma un polígono cuyo comportamiento refleja la expresión máxima en rendimiento en dicho sector y son altamente sensibles a cambios ambientales entre ellos están los genotipos L307, 313, 311 y 315, L328. También se identificó cuatro mega ambientes: el primero agrupa a las localidades de Yesera Norte, Uyaxtipunta y Carachimayo, el segundo está conformado por Zudañez, Chullpa Chullpa Bajo, el tercero por Incahuasi, Quirusillas, Ravelo, Yuraj Molino y Sipe Sipe y finalmente el cuarto compuesto por Redención y Yamparaez. Además indicar las líneas L328, L319, L302 y L340 tienen rendimientos por debajo del rendimiento promedio.

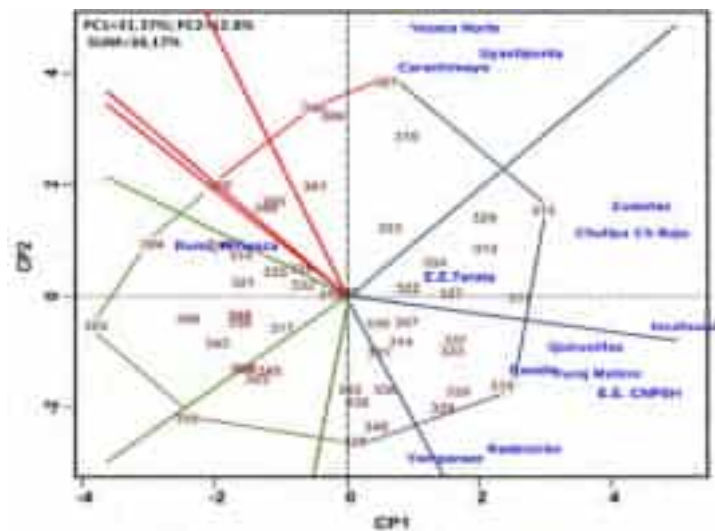


Figura 1. Gráfico GGEbiplot para rendimiento de grano de 50 líneas avanzadas de trigo del vivero 20 SAWYT evaluados en 15 ambientes trigueros de Bolivia durante la campaña agrícola 2013-2014.

La figura 2 muestra el genotipo ideal, que contempla cultivos de alto potencial de rendimiento en las 15 localidades y además su estabilidad, entre ellos se encuentra la L313, L311, L312, L324 y L327 siendo superiores a otros y los genotipos L302, L304 y L348 tienen rendimientos bajos. También se pueden identificar genotipos que tienen adaptación específica y estabilidad muy baja entre ellos están las líneas L307, L328, L346, L329 y L349.

El comportamiento (figura 3) de los cultivares élites en la campaña agrícola 2014-2015 respecto a las 12 localidades se visualiza las líneas L347, L313, L327, L315, L301, L334 y L307 están ubicados en los vértices unidos mediante líneas rectas que conforman el polígono y los genotipos tienen alta sensibilidad a los cambios ambientales. El genotipo que tiene más proyección en términos de superioridad en rendimiento en la mayoría de las localidades es la L313, seguida de la L327, este patrón de comportamiento se debe probablemente a su ciclo de maduración precoz en zonas de altura y buen llenado de grano.

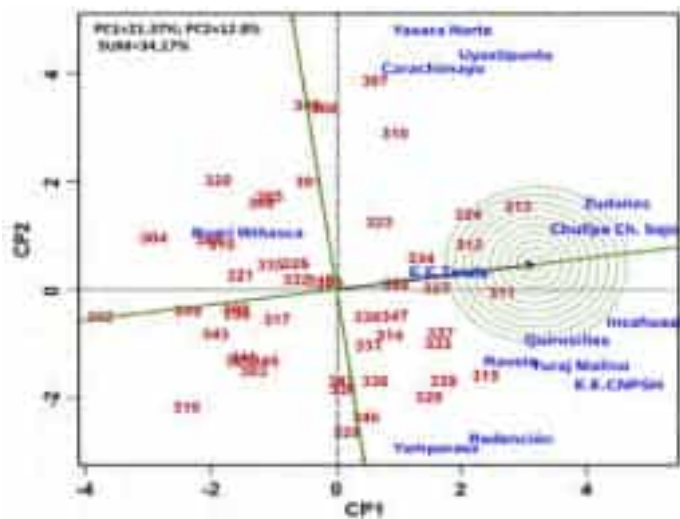


Figura 2. Genotipo ideal entre las 50 líneas avanzadas de trigo harinero evaluado en 15 ambientes trigueros de Bolivia durante la campaña agrícola 2013-2014.

En términos de estabilidad: la L313 tiene adaptabilidad general seguida de la L327 ambas están no muy alejadas de la recta entre el ambiente promedio y el origen del biplot, y genotipos

que tienen mayor proyección al eje fueron la L331 y la L347 ambas son inestables. Además los megambientes tienen una clara connotación en conformar grupos definidos como ser: el primero

conformadas de Condoriri, Redención, Collpana, Araní y Kallutaca y el segundo por San Benito, Totora, Incahuasi y Zudañez. Sin embargo las localidades de Arampampa y Tarata tienen ren-

dimientos promedio por debajo de la media y están opuestos a los grupos descritos, esto se atribuye probablemente a factores ambientales no favorables.

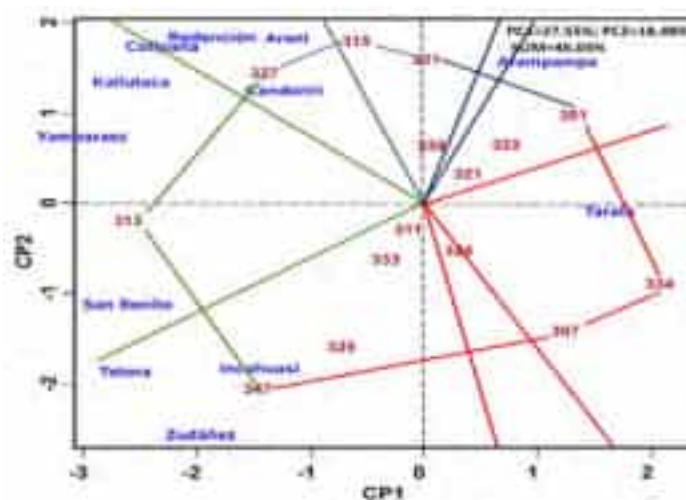


Figura 3. GGE Biplot para rendimiento de grano de 15 líneas élités de trigo harinero evaluado en 12 ambientes trigueros de Bolivia 2014-2015.

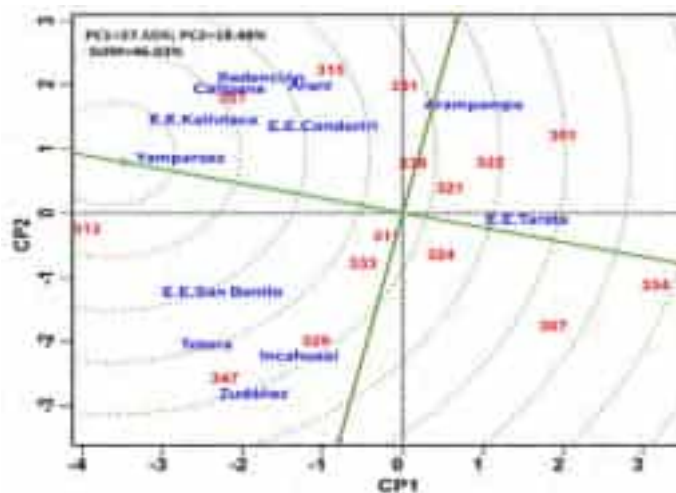


Figura 4. Genotipo ideal entre las 50 líneas élités de trigo harinero, evaluados en 15 ambientes trigueros de Bolivia durante la campaña agrícola 2013-2014.

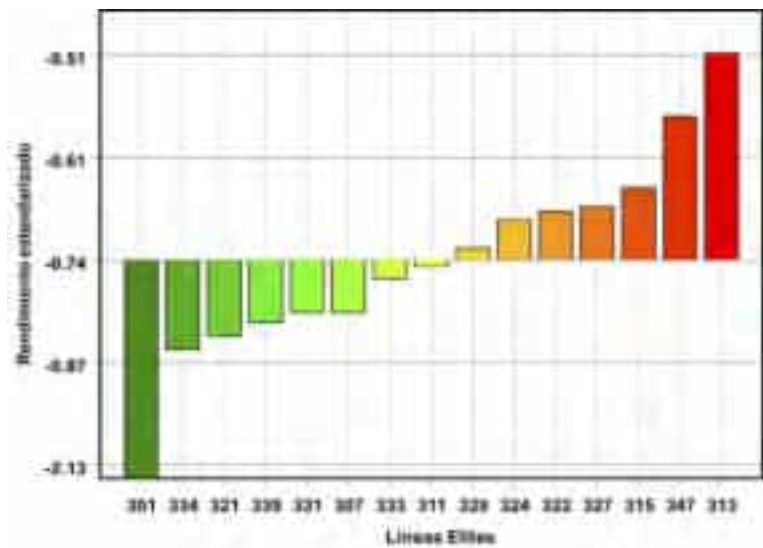


Figura 5. Ranking de rendimiento estandarizado de 15 líneas elites de trigo harinero evaluados en 12 ambientes trigueros de Bolivia durante la campaña agrícola 2014-2015.

El ranking elaborado en base al promedio estandarizado de las 12 localidades se observa que la L313 se destaca por tener rendimientos altos seguida de L347, L315, L327, L322, L324 y L329. Sin embargo la L311, L333, L307, L331, L339, L321, L334 y L301 (Tepoca T89) tienen rendimientos por debajo de la media general

Tabla 2. Promedio general de rendimiento (RDTO), días a la madurez (DM), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) de 15 genotipos de trigo harinero en las campañas agrícolas 2013 a 2015.

Entrada	Pedigree	Origen	DM	PMG	PH	RDTO
311	VORB/SOKOLL	CIMMYT	125,3	40,6	80,4	1,5
333	SLVS/ATTILA//WBLL1/4/FRAME*2/3/URES/JUN//KAUZ	CIMMYT	125,2	43,6	78,2	1,6
327	SLVS/ATTILA//WBLL1*2/3/GONDO/CBRD	CIMMYT	124,9	43,4	79,1	2,0
347	D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/SKAUZ/BAV92	CIMMYT	125,3	44,7	79,3	1,8
313	VORB/SOKOLL	CIMMYT	125,3	43,3	78,0	1,5
329	HUANIL/5/2*CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92	CIMMYT	125,3	40,5	78,9	1,7
339	KRICHAUFF/2*PASTOR/4/MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	CIMMYT	125,3	37,6	78,8	1,7
321	KANZ/5/CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR/4/BAV92/6/PRL/SARA//TSI/VEE#5	CIMMYT	125,3	43,5	79,4	1,7
331	PBW343*2/KUKUNA//WBLL1*2/KUKUNA	CIMMYT	125,4	45,3	79,4	1,7
307	BOW/VEE/5/ND/VG9144//KAL/BB/3/YACO/4/CHIL/6/CASKOR/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/7/PASTOR//MILAN/KAUZ/3/BAV92	CIMMYT	124,1	44,1	79,3	1,5
315	VORB/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	CIMMYT	125,5	41,2	77,1	1,6
324	BABAX/KS93U76//BABAX/3/2*SOKOLL	CIMMYT	125,1	38,1	79,5	1,5
322	BABAX/KS93U76//BABAX/3/2*SOKOLL	CIMMYT	124,6	44,0	81,0	1,5
334	SLVS/ATTILA//WBLL1/4/FRAME*2/3/URES/JUN//KAUZ	CIMMYT	124,7	40,9	79,0	1,9
MEDIA DEL AMBIENTE (2013-2014)			110,0	37,5	70,9	2,7
RANGO DEL AMBIENTES (2013-2014)			100-130	25-49	52-80	43-6,5

Entrada	Pedigree	Origen	DM	PMG	PH	RDTO
313	VORB/SOKOLL	CIMMYT	125,3	43,3	78,0	1,5
315	VORB/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	CIMMYT	125,5	41,2	77,1	1,6
311	VORB/SOKOLL	CIMMYT	125,3	40,6	80,4	1,5
333	SLVS/ATTILA//WBLL1/4/FRAME*2/3/ URES/JUN//KAUZ	CIMMYT	125,2	43,6	78,2	1,6
MEDIA DEL AMBIENTE (2014-2015)			125,1	42,2	79,1	1,7
RANGO DEL AMBIENTE (2014-2015)			124-125	37,6-45,3	77,1-81,1	1,5-1,9

Conclusiones

La línea L313 fue identificada como ideal por tener características de amplia adaptabilidad y rendimiento alto, seguida de L327 L315 y L333 que tienen un comportamiento superior en zonas de altura: Redención, Collpana, Arani, Condoriri, Yamparéz y Kallutaca donde el cultivo de trigo es muy restringido por las condiciones ambientales desfavorables.

Se identificó dos ambientes claramente definidos que tienen similitud en la producción de trigo, el primero compuesto de Redención, Collpana, Arani, Condoriri, Yamparéz y Kallutaca que se caracterizan por tener precipitaciones bajas y tienen altitudes superiores a los 2900 msnm y el segundo está conformado por: Totora, Incahuasi, San Benito y Zudañez ambientes que tienen precipitaciones medias y altitudes por debajo de los 2800 msnm.

Referencias citadas

- Aykut Tonk F, Ilker E, Tosun M. 2011. Evaluation of genotype x environment interactions in maize hybrids using GGE biplot analysis. *CropBreed and Appl Biotechnol.* 11: 1-9.
- Condon, A. G., R. A. Richards, G. J. Rebetzke, and G. D. Farquhar. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Bot.* 55(407): 2447-2460.
- Cordova, H.S. 1989. Evaluación de 36 cultivares de maíz en 20 ambientes de Centro América, Panamá y El Caribe PCCMCA. XXXV Reunión Anual del PCCMCA, San Pedro Sula. Honduras.
- Crossa J, H G Gauch Jr, R W Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trails. *Crop Sci.* 30:493-500.
- Farshadfar E, Mohammadi R, Aghaee M, Vaisi Z. 2012a. GGE biplot analysis of genotype × environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Aust J Crop Sci.* 6(6): 1074-1079.
- Eberhart SA, Russell WA. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Herbas, R. 2008. Situación del trigo en Bolivia y en contexto internacional. Centro de investigación y promoción del campesinado CIPCA - Bolivia. Pp. 9- 18
- Hugo, S. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. *AGRONOMÍA Meso Americana* 2: 01-10
- INE, 2011. Instituto Nacional de Estadística. Estadísticas Agropecuarias. La Paz, Bolivia.
- INIAF. 2012. Plan de Implementación del Programa Nacional de Trigo del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, Bolivia. 40 p.
- Marza, F y Quispe, F. 2013. Guía Práctica Para El Investigador en Trigo. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF. Programa Nacional de Trigo. 1ra Edición. La Paz, Bolivia.
- Rodríguez P., J. E., J. Sahagún, H. E. Villaseñor, J. D. Molina, y A. Martínez. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Fitotec. Mex.* 25: 143-151.
- Yan W. and Kang MS. 2002. GGE Biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, New York, USA, 190 pp
- Yan, W., L. A. Hunt, S. Qinglai, and Z. Szalvins. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sc.* 40: 597-605.
- Yan, W. and N.A. Tinker, 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.*, 86: 623-645.

Características de grano relacionados con rendimiento de trigo

Roberto Butrón, Ruth Michma, Eddy Silva, Oswaldo Siñani,

Félix Quispe y Félix Marza

Programa Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF),

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

robertt_b21@hotmail.com

Resumen

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

Palabras clave: caracterización y rendimiento

Abstract

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

Introducción

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

Materiales y métodos

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

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

Resultados y discusión

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

Tabla 1. Estadística descriptiva de características cuantitativas (AP: Altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espiga, NGE: número de grano por espiga, PMG: peso de mil granos, RDT0: rendimiento y PH: peso hectolítrico, PS: profundidad del surco, LG: longitud de grano y AG: ancho de grano) de 50 cultivares de trigo harinero introducidas del CIMMYT, evaluadas en la localidad de Montenegro, durante la campaña de invierno 2015.

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Asimetría	Curtosis
AP ²	50.3	98.3	76.0	9.93	-0.22	-0.41
NEM	164.0	582.0	331.7	82.24	0.23	-0.01
LE ²	6.4	9.6	7.9	0.59	-0.27	0.20
NGE	35.3	65.0	47.6	6.74	0.26	-0.67
PMG ⁵	35.0	61.0	47.1	5.14	0.17	-0.28
RDT0 ^p	298.4	7232.0	3330.2	1554.1	0.49	-0.28
PH ^e	75.1	85.6	80.8	1.99	-0.12	0.68
PS ^a	0.5	1.8	1.0	0.20	0.75	2.54
LG ²	4.4	7.8	5.7	0.46	0.54	2.22
AG ²	2.1	3.7	3.0	0.30	-1.05	1.78

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



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



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

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

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

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

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

Tabla 3. Análisis de varianza para variables cuantitativas (AP: Altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espiga, NGE: número de grano por espiga, PMG: peso de mil granos, RDT0: rendimiento y PH: peso hectolítrico, PS: profundidad del surco, LG: longitud de grano y AG: ancho de grano) de 50 cultivares de trigo harinero, evaluadas en la localidad de Montenegro, durante la campaña de invierno 2015.

FV	GL	Cuadrados Medios									
		AP	NEM	LE	NGE	PMG	RDT0	PH	PS	LG	AG
Rep	1	594.0**	18282.1**	0.69*	92.76ns	0.85ns	13694819.4**	1.23ns	0.01ns	0.03ns	0.30*
Blq(Rep)	8	186.7**	15973.4**	0.17ns	25.01ns	18.22**	8645212.6**	4.11**	0.03ns	0.09ns	0.14*
Líneas	49	55.6*	4094.9*	0.42**	55.89*	39.64**	986075.21ns	6.29**	0.05ns	0.32**	0.07ns
Error	41	30.26	2650.56	0.15	27.31	4.83	666534.00	0.895	0.034	0.105	0.050
R ²		0.87	0.84	0.82	0.75	0.92	0.89	0.91	0.66	0.80	0.77
CV (%)		7.2	15.5	4.9	11.0	4.7	24.5	1.2	18.1	5.7	7.5

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

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

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

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

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

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

Tabla 3. Matriz de correlación múltiple para variables cuantitativas (AP: Altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espiga, NGE: número de grano por espiga, PMG: peso de mil granos, RDT0: rendimiento y PH: peso hectolítico, PS: profundidad del surco, LG: longitud de grano y AG: ancho de grano) de 50 cultivares de trigo harinero, evaluadas en la localidad de Montenegro, durante la campaña de invierno 2015.

	AP	NEM	LE	NGE	PMG	RDT0	PH	PC	LG	AG
AP	1									
NEM	0.536**	1								
LE	0.382**	0.020	1							
NGE	0.380**	0.061	0.440**	1						
PMG	0.519**	0.029	0.212*	0.178	1					
RDT0	0.814**	0.696**	0.219*	0.381**	0.426**	1				
PH	0.345**	0.199*	0.095	0.234*	0.293**	0.371**	1			
PS	-0.028	-0.125	0.241*	-0.086	0.058	-0.107	-0.382**	1		
LG	0.082	-0.257**	0.195	0.089	0.364**	-0.051	0.007	0.058	1	
AG	0.584**	0.143	0.282**	0.319**	0.535**	0.496**	0.197*	-0.107	0.290**	1

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

* la correlación es significativa al $p < 0.05$

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

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

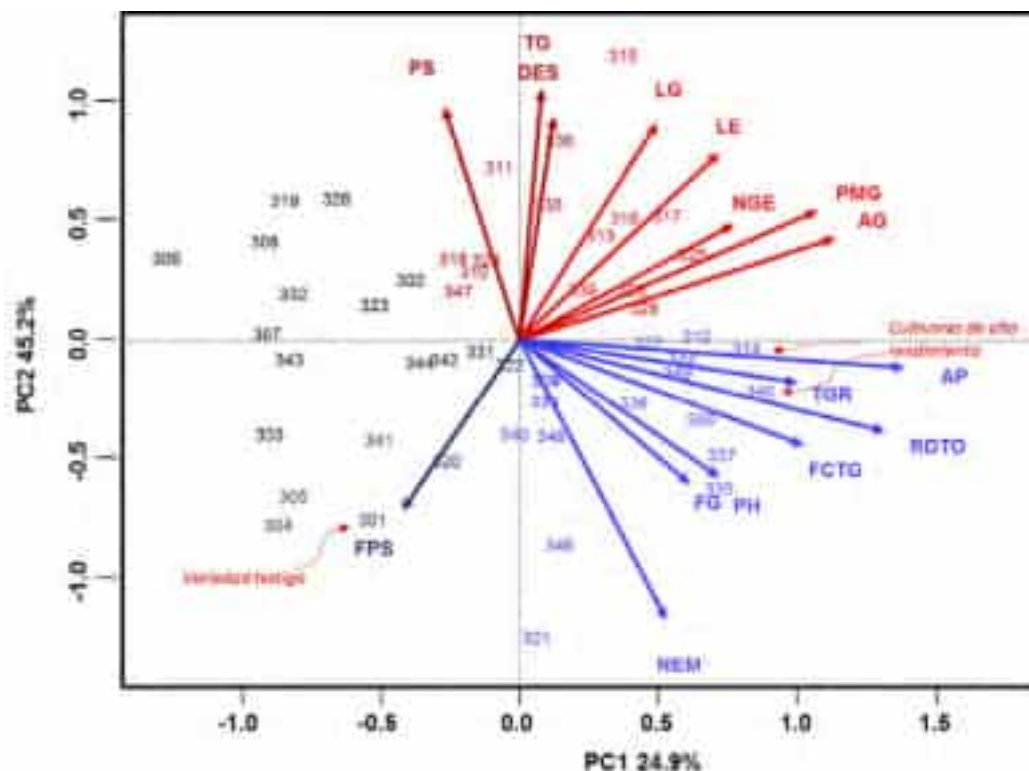


Figura 1. Análisis Biplot de la caracterización de 50 líneas de trigo harinero. Las características evaluadas fueron: AP: altura de planta; NEM: número de espigas por metro cuadrado, LE: longitud de espiga, NGE: número de grano por espiga, PMG: peso de mil granos, RDTG: rendimiento y PH: peso hectolítrico,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

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

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

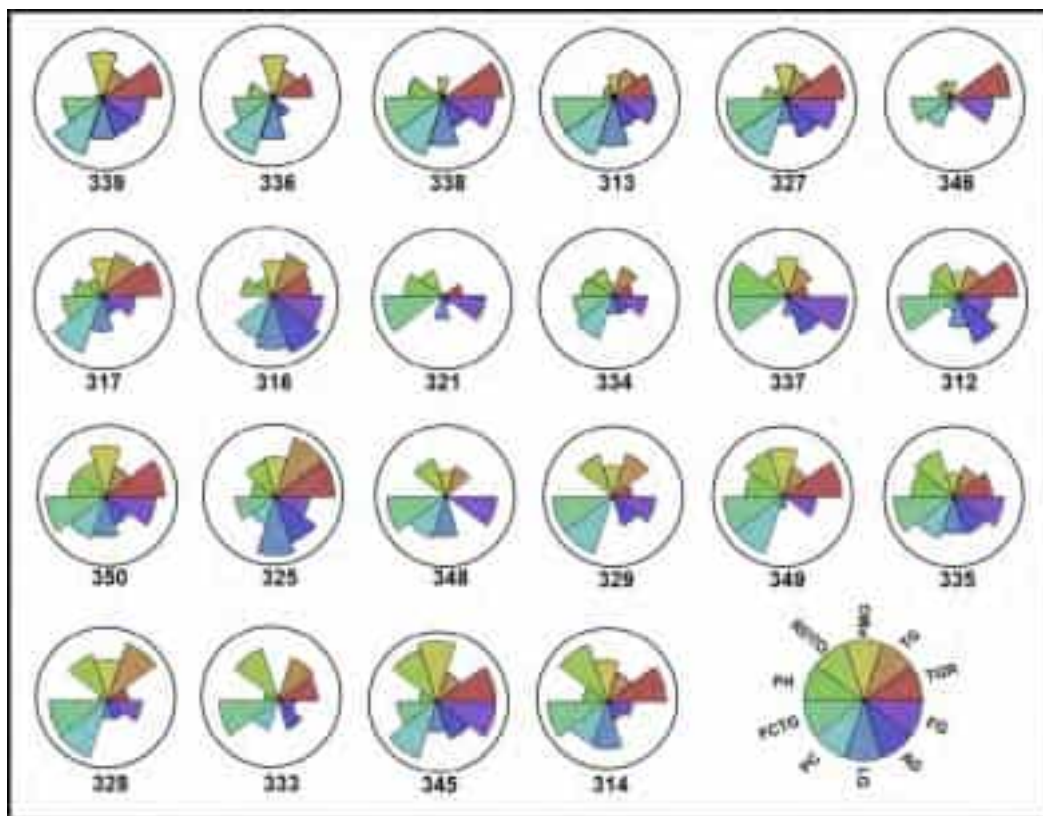


Figura 2. Diagrama de estrella (stars plot) de 22 líneas de trigo harinero seleccionado por características de productividad

Conclusiones

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

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

Referencias citadas

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

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

Estimación de la variabilidad fenotípica de trigo harinero para componentes de productividad

Nancy Huanca, Roberto Butrón, Félix Marza y Félix Quispe

nancyhuanca@hotmail.com

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

Resumen

Con el objetivo de determinar la variabilidad fenotípica de 208 líneas avanzadas de trigo harinero introducido del CIMMYT por el PN-Trigo del INIAF correspondiente al vivero 32 SAWSN, se estableció el ensayo en la Estación Experimental de San Benito bajo la metodología de surco por entrada, con densidad de siembra de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Se registraron 10 variables cuantitativas y cualitativas (altura de la planta, longitud de espiga, densidad de la espiga, tipo de grano, tamaño del grano, número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado, peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento en grano). Para análisis de datos se utilizó estadística descriptiva, correlación simple, componentes principales y conglomerados a través de la técnica de agrupación jerárquica. Se encontraron correlaciones altas entre el rendimiento con la longitud de espiga, número de granos por espiga, altura de la planta y peso de mil granos. Los genotipos L53, L102, L112, L131, L129, L51, L143 y L203 destacan para característica de productividad. Los genotipos que sobresalen para características de grano y calidad fueron las líneas L205, L98, L108, L84, L106, L204 y L1. Las asociaciones de componentes principales confirmaron las variables identificadas por la matriz de correlación. Considerando la significancia de cada uno de los grupos de variables es posible obtener información de utilidad para el programa de mejoramiento del cultivo del trigo.

Palabras clave: Trigo, variabilidad y semiárido.

Abstract

In order to determine the phenotypic variability of 208 advanced lines of bread wheat a study was established based on the 32 SAWSN nursery introduced from CIMMYT by the National Wheat Program of INIAF. The essay was sat on in San Benito Experimental Station under row by entry methodology at seeding rate of $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ten quantitative and qualitative variables (plant height, spike length, density of the spike, grain type, grain size, number of grains per spike, number of spikes per square meter, thousand kernel weight, test weight and grain yield were registered). For the data analysis, descriptive statistics, simple correlation, principal component and conglomerates through hierarchical clustering technique was used. High correlations were identified between yield and spike length, number of grains per spike, plant height and thousand kernel weight. The lines identified as: L53, L102, L112, L131, L129, L51, L143 and L203 were identified as most promising ones. Protruding genotypes for grain characteristics and quality were the lines: L205, L98, L108, L84, L106, L204 and L1. Associated variables were confirmed as the major components identified by the correlation matrix. Considering the significance of each variable and line is possible to obtain great advantages to reinforce the variability for the INIAF wheat breeding program.

Introducción

El cultivo de trigo en Bolivia se extiende desde zonas altas de 2900 msnm promedio hasta zonas bajas de 200 msnm promedio. Su importancia radica por ser fuente principal de carbohidratos en la dieta alimentaria (INIAF, 2012). Su producción solo abastece el 30% de la demanda y los rendimientos están entre 0.9 a

$1.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ por debajo de los países de la región. Entre las estrategias para mejorar los índices productivos tiene que ver con el fortalecimiento de la base genética que constituye un componente fundamental. En ella se encuentran los genes que le confieren a los cultivares las características de productividad, tolerancia a

factores bióticos y abióticos adversos y otros identificados en los propósitos del programa de mejoramiento (Medina *et al.*; 2002). La determinación de los atributos potenciales de cada individuo es crucial para estructurar la pirámide poblacional del programa, por lo que la caracterización de las introducciones es una primera etapa muy importante (Golabadi *et al.*, 2005). Esta permite estimar la variabilidad existente en el genoma de la población de individuos que la conforman (Franco e Hidalgo, 2003). Es primordial identificar cuál es el nivel de variabilidad que se intenta medir o describir con el fin de elegir las herramientas o métodos estadísticos adecuados para analizar los datos resultantes de un estudio de caracterización (Joshi *et al.*, 2004). El objetivo fue determinar la variabilidad fenotípica de 208 líneas avanzadas de trigo harinero introducido del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) por el PN-Trigo del INIAF correspondiente al vivero 32 SAWSN (Vivero internacional de selección de trigo harinero para zonas semiáridas) en la localidad de San Benito durante la campaña agrícola 2014-2015.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó durante la campaña agrícola 2014-2015 en la Estación Experimental de San Benito. Se utilizaron 208 líneas de trigo harinero de del vivero 32SAWSN (Vivero internacional de selección para zonas semiáridas) del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). El material genético fue establecido bajo una

metodología de surcos por entrada, con surcos de 4 metros, bajo una densidad de siembra de 100 kg*ha⁻¹. Se registraron 10 variables cuantitativas y cualitativas (altura de la planta, longitud de espiga, densidad de la espiga, tipo de grano, tamaño del grano, número de granos por espiga, número de espigas por metro cuadrado, peso de mil granos, peso hectolítrico y rendimiento en grano). Para el análisis de datos se utilizó estadística descriptiva, correlación simple, componentes principales y conglomerados a través de la técnica de agrupación jerárquica.

Resultados y discusión

Los estadísticos descriptivos (tabla 1) reflejan que la altura de planta de las líneas obtuvo una media de 54.86 cm que oscilan entre 38 cm hasta 71 cm con una variación de ± 6.92 cm. La longitud de espiga máxima fue de 9.5 y la mínima 3.8 cm con una media de 7.15 con densidades que van desde moderadamente compactas a muy compactas. El número de espigas por metro cuadrado alcanzó una media de 242 espigas por metro, habiendo genotipos con 104 hasta 480 y una variación de ± 75.24 espigas. El número de granos por espiga presenta una media de 33 granos por espiga con una fluctuación de ± 4.97 granos por espiga. Los estimados para peso hectolítrico, peso de mil granos fueron de 69.75 kg*hl⁻¹, 29.84 g respectivamente. Finalmente el rendimiento promedio fue de 1042 kg*ha⁻¹ con una máxima de 2590 kg*ha⁻¹ y una mínima de 230 kg*ha⁻¹.

Tabla 1. Estadística descriptiva de 10 variables de respuesta (AP: Altura de planta; LE: Longitud de espiga; DES: Densidad de espiga; TGR: Tipo de grano; TG: Tamaño de grano NEM: Número de espigas por metro cuadrado; NGE: Número de granos por espiga; PMG: Peso de mil granos; RDTO: Rendimiento en grano y PH: Peso hectolítrico) de 207 líneas avanzadas del trigo harinero del vivero 32 SAWSN introducidas CIMMYT, evaluado en la localidad de San Benito, durante la campaña agrícola de 2014-2015.

Variables	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar	Varianza	Curtosis
AP (cm)	33	38	71	54,86	6,92	47,91	-0,38
LE (cm)	4,5	5	9,5	7,15	0,78	0,61	-0,12
DES (1-5) ^a	1	3	4	3,19	0,4	0,16	0,45
TGR(1-5) ^b	4	1	5	2,86	0,77	0,59	-0,78
TG(1-5) ^c	2	3	5	3,09	0,41	0,17	18,52
NGE	24	24	48	33,92	4,97	24,73	-0,07
NEM	376	104	480	242,16	75,24	5661,62	0,45
PMG (g)	21	21	42	29,84	4,2	17,61	-0,08
RDTO (kg*hl ⁻¹)	2360	230	2590	1042,9	419,04	175593,5	1,36
PH (kg*hl ⁻¹)	39,3	44,21	83,51	69,75	4,74	22,45	8,45

^a1= muy laxa, 2= laxa, 3= moderadamente compacta, 4= compacta y 5=muy compacta

^b1=muy chupado, 2=chupado, 3=casi lleno, 4=lleno y 5=muy lleno

^c1=grano pequeño (, 2=grano mediano (6-7mm) y 3=grano grande (>7mm)

La matriz de correlación de Pearson entre cada par de características cuantitativas se presenta en la figura 1, se consideró que los coeficientes > 0.40 corresponden a asociaciones que representan patrones naturales de variación; de esta forma, las correlaciones más importantes fueron las variables de rendimiento y de calidad de grano.

Entre las variables de rendimiento, la correlación más alta correspondió al número de granos con la longitud de espiga

($r=0.6$) valor que indica a mayor longitud de espiga, el número de granos también incrementa en el número de granos por espiga. La otra asociación importante entre la altura de la planta con el rendimiento($r=0.5$), la altura de la planta con longitud de espiga y número de espiga con coeficientes de $r=0.48$ y $r=0.43$ respectivamente. Los valores descriptos indica cuanto mayor sea el peso del grano mayor será el rendimiento en grano.

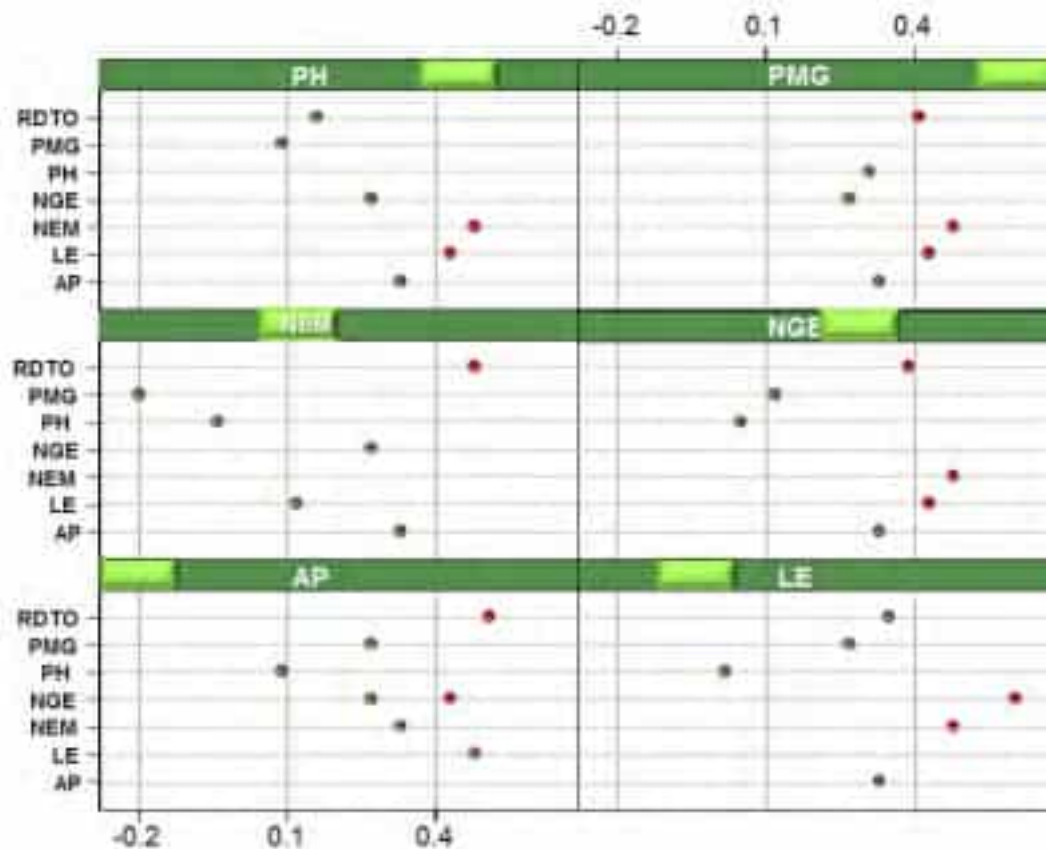


Figura 1. Panel de trellis de correlación de variables cuantitativas (AP: altura de la planta; LE: longitud de espiga; DE: densidad de la espiga, NGE: Número de granos por espiga; NEM: número de espigas por metro cuadrado; PMG: peso de mil granos; PH: Peso hectolítrico y RDT: rendimiento en grano) de las líneas avanzadas del trigo harinero, evaluado en la localidad de San Benito, durante la campaña agrícola de 2014-2015.

El análisis biplot refleja la magnitud de la variable, la asociación de las mismas y además muestra la ubicación de las observaciones relacionados con el vector (Hidalgo *et al.*, 2003). Ambos componentes principales representan más del 57% de la varianza acumulada. Se visualiza dos grupos de variables, la

primera relacionada con el rendimiento: altura de la planta, longitud de la espiga, número de granos por espiga y rendimiento en grano. El segundo grupo conformado por: peso de mil granos, tipo de grano, peso hectolítrico y tamaño de grano.

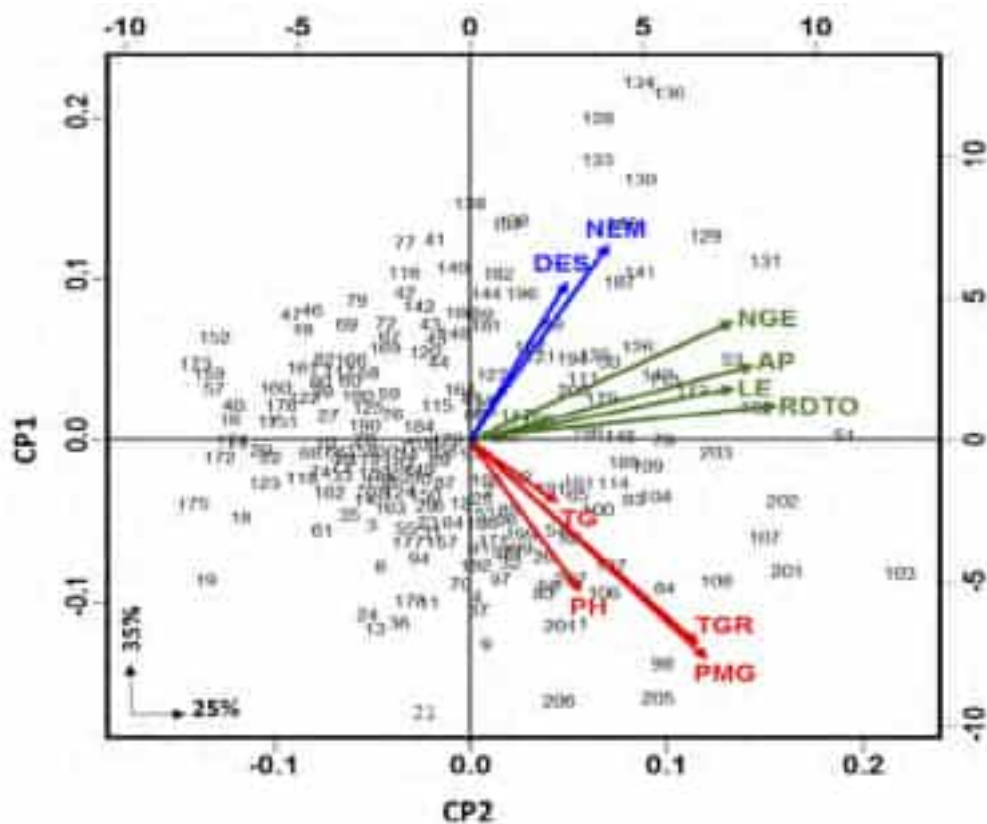


Figura 2. Análisis de biplot de caracteres cuantitativos y cualitativos (AP: altura de la planta; LE: longitud de espiga; DE: densidad de la espiga, NGE: Número de granos por espiga; NEM: número de espigas por metro cuadrado; PMG: peso de mil granos; PH: Peso hectolítico, RDTO: rendimiento en grano; TGR: tipo de grano; TG: tipo de grano y DES: densidad de espiga) de líneas avanzadas del trigo harinero, evaluado en la localidad de San Benito, durante la campaña agrícola de 2014-2015.

En el grupo de variables de rendimiento destacan las líneas L53, L102, L112, L131, L129, L51, L143 y L203. Sin embargo, en el grupo de variables relacionados con características de grano y calidad sobresalen las líneas L205, L98, L108, L84, L106, L204 y L1.

El dendograma obtenido (figura 3) a través de la distancia euclidiana muestra 5 grupos significativos a un corte de 0.6. Estos fueron agrupados en función a características de similitud entre los genotipos.

Grupo 1. Este grupo está formado por 13 genotipos, las mismas que se encuentran superior de todos los grupos con 342.2

macollos por metro cuadrado, 32.7g en peso de mil granos, 70.7 kg*hl⁻¹ en peso hectolítico y 2019.2 kg*ha⁻¹ en rendimiento en grano.

Grupo 2. Este grupo está compuesta por 71 genotipos, se diferencia del primer grupo por presentar inferioridad frente al primer grupo con respecto a las variables: número de macollos 253, peso de mil granos con 30.9g, peso hectolítico con 70 kg*hl⁻¹ y rendimiento en grano con 1133.9 kg*ha⁻¹.

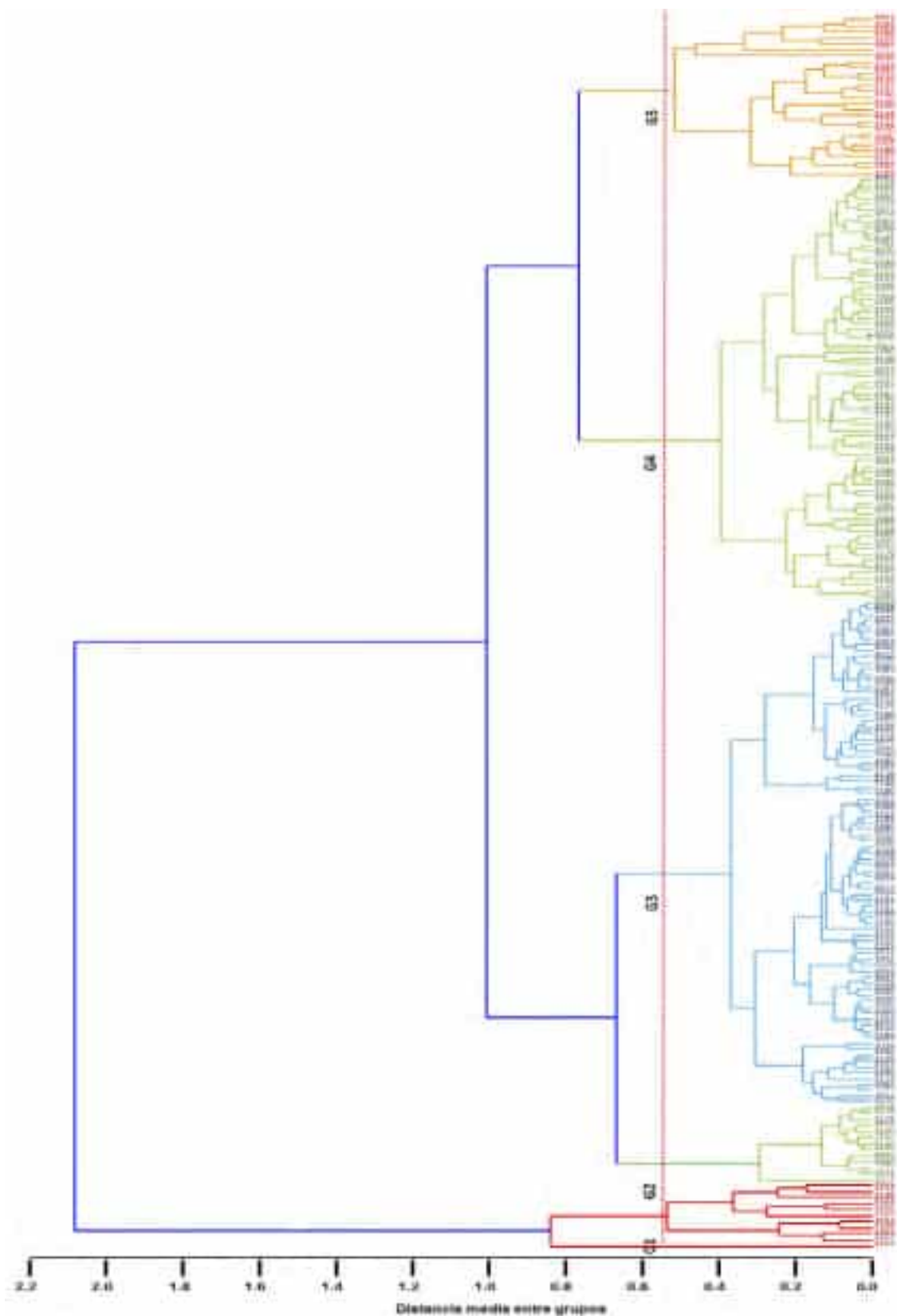


Figura 3. Análisis clúster para caracteres fenotípicos (10 variables) de líneas avanzadas de trigo harinero (32SAWSN) procedentes del CIMMYT, evaluados en la localidad de San Benito durante la campaña agrícola 2014-2015.

Grupo 3. Este grupo es el más numeroso, está compuesta por 83 genotipos; en su mayoría de las variables se encuentran inferior al primer y segundo grupo. Su rendimiento promedio fue de 775,3 kg*ha⁻¹.

Grupo 4. Este grupo está compuesto por 15 genotipos caracterizado por presentar 206 macollos por metro cuadrado, 26.2g de peso de mil granos, 67.6 kg*hl⁻¹ y rendimiento en grano con 412 kg*ha⁻¹; mismas q muestran inferior respecto al resto de los otros grupos.

Grupo 5. Este grupo está compuesto por 25 genotipos. En su mayoría de las variables se encuentran superior que los del G2, G3 y G4. Las plantas llegaron a formar 295 macollos por metro cuadrado, de los cuales el peso de mil granos alcanzó 30.7 g en promedio con rendimientos de 1523 kg*ha⁻¹.

En base al ranking de rendimiento se observa a los genotipos que tienen rendimientos entre 800-1000 kg*ha⁻¹ en su mayoría seguida de 1000 a 1200 kg*ha⁻¹. Sin embargo los genotipos que tienen rendimientos superiores a los 2000 kg*ha⁻¹ se encuentran con menor frecuencia, esto sea probablemente a factores ambientales no favorables durante la fase de desarrollo del cultivo.

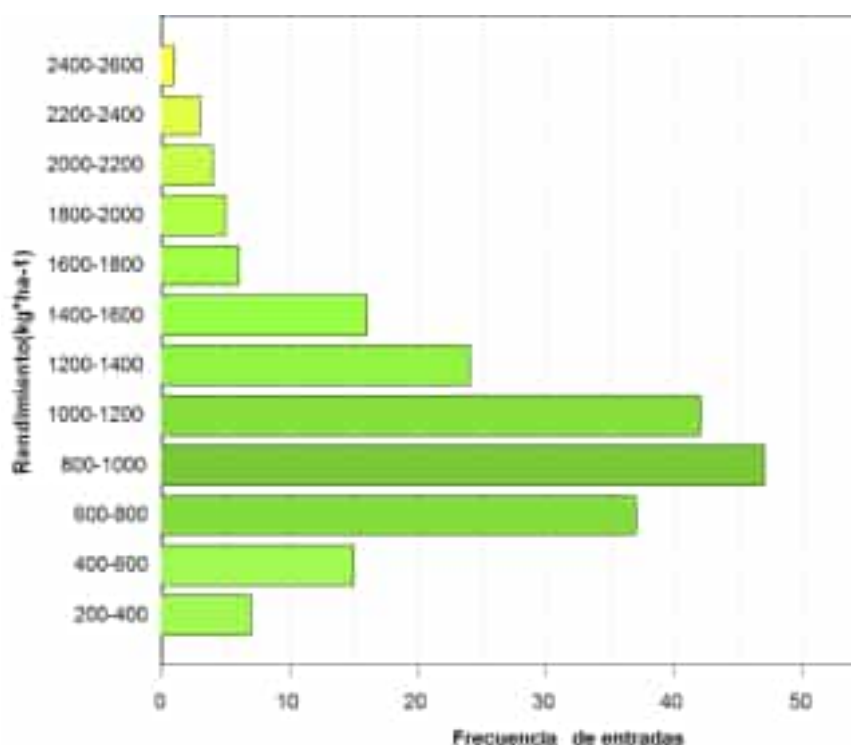


Figura 4. Rankin de rendimiento de líneas avanzadas de trigo harinero, evaluadas en la localidad de San Benito durante la campaña agrícola 2014-2015.

Conclusiones

Se encontraron correlaciones altas entre el rendimiento con la longitud de espiga, número de granos por espiga, altura de la planta y peso de mil granos.

Los genotipos L53, L102, L112, L131, L129, L51, L143 y L203 destacan para características de productividad.

Los genotipos que destacan para características de grano y calidad fueron las líneas L205, L98, L108, L84, L106, L204 y L1.

Las asociaciones de componentes principales confirman las variables que fueron identificadas por la matriz de correlación. Considerando la significancia de cada uno de los grupos de variables es posible obtener información de utilidad para el programa de mejoramiento del cultivo del trigo.

Referencias citadas

- Ahmed, N.; Chowdhry, M.; Khaliq, I. and Maekawa, M. 2007. The Inheritance of Yield and Yield Components of Five Wheat Hybrid Populations under Drought Conditions. *Indonesian Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 8. 2007. pp. 53-59.

- Ford-Lloyd, B. y Jackson, M. 1986. Plant genetic resources. An introduction to their conservation and use. Edward Arnold, Publ. Baltimore. 152. p.
- Franco, T. L. e Hidalgo R. 2003. Análisis Estadístico de datos de Caracterización Morfológica de recursos Filogenéticos. Boletín técnico nº 8, Instituto Internacional de recursos Filogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- Golabadi, M.; Arzani and M. Maibody. 2005. Evaluation of Variation among Durum Wheat F3 Families for Grain Yield and Its Components under Normal and Water-Stress Field Conditions. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. Vol. 41, pp. 263-267.
- INIAF. 2012. Boletín informativo. Nro. 1
- Joshi, B.; Mudwari, A.; Bhatta, M. and Ferrara, G. 2004. Genetic diversity in Nepalese wheat cultivars based on agro-morphological traits and coefficients of parentage. *Nepal Agricultural Research Journal* 5: 7-17.
- Khan, H., Rahman, H., Ahmed, H. and Ali H. 2008. Magnitude of Heterosis and Heritability in Sunflower over Environments. *Pakistan Journal of Botany*. Vol. 1, pp. 301-308.
- Medina, A.; Ramis, C.; Rodríguez, D. y Vegas, A. 2002. Variabilidad genética del germoplasma de algunas especies de los géneros *Carica* y *Vasconcellea* (Caricaceae) con el uso de marcadores RAPD. Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA), Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. Pp.116-124.
- Marza, F y Quispe, F. 2013. Guía Práctica Para El Investigador en Trigo. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria Y Forestal, INIAF. Programa Nacional de Trigo. 1ra Edición. La Paz, Bolivia.
- Nouri-Ganbalani, A.; Nouri-Ganbalani G. and D. Hassanpanah. 2009. Effects of Drought Stress Condition on the Yield and Yield Components of Advanced Wheat Genotypes in Ardabil. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. Vol. 7. No. 3-4. pp. 228-234.
- Shah, M. and Deora, V. 2002. Genetic Variability and Association Studies in Wheat for Grain Yield and Temperature Tolerance Parameters. *Indian Journal of Agricultural Research*. Vol. 36. 2002. pp. 172-176.
- Skovmand, B., Varughese, G. y Hettel, G.P. 1992. Los recursos genéticos de trigo en el CIMMYT: Su conservación, enriquecimiento y distribución. México, D.F.: CIMMYT.

Ensayo comparativo de rendimiento de diez variedades de trigo en condiciones de altiplano central de Bolivia

Eddy Silva, Ruth Michma, Félix Marza, Roberto Butrón y Félix Quispe

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

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el comportamiento productivo de diez variedades de trigo en condiciones del altiplano central de Bolivia, en la campaña agrícola 2013-2014. Los tratamientos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron las variables: altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), número de espiguillas por espiga (NEE), número de granos por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO). El análisis de varianza mostró diferencias significativas para el rendimiento (RDTO), número de espiguillas por espiga (NEE), número de granos por espiga (NGE) y peso de mil granos (PMG). Estadísticamente se verificó que las variedades más rendidoras fueron: Anzaldo, Chullchuncaneño y Tiraque. La variable rendimiento (RDTO) presentó una correlación altamente significativa con número de espigas por metro cuadrado (NEM) (0,542), número de espiguillas por espiga (NEE) (0,444) y número de granos por espiga (NGE) (0,444).

Palabras clave: trigo, productividad, rendimiento, componentes.

Abstract

The objective of this study was to establish the performance of the ten wheat varieties in the conditions of Central highlands of Bolivia corresponding to the crop year 2013-2014. The treatments were established in a complete block design with three replications. plant height (AP), number of ears per square meter (NEM), spike length (LE), number of spikelets per spike (NEE), number of grains per spike (NGE), weight of a thousand: (PMG), test weight (PH) and grain yield (yield) were evaluated. Analysis of variance showed significant differences in yield performance, number of spikelets per spike (NEE), number of grains per spike (NGE) and thousand kernel weight (PMG). The least significant differences show that the most yielding varieties were Anzaldo, Chullchuncaneño and Tiraque. The variable return (yield) showed a highly significant correlation with number of spikes per square meter (NEM) (0.542), number of spikelets per spike (NEE) (0.444) and number of grains per spike (NGE) (0.444).

Introducción

El nivel de producción y consumo mundial de trigo ubican a este cereal como uno de los cultivos más importantes dentro del sistema agrícola. Por consiguiente el mejoramiento genético es una estrategia importante en la generación de tecnología y así superar los diversos factores bióticos y abióticos que afectan su producción en los diferentes contextos donde es cultivado este cereal de gran importancia. Debido a la importancia del trigo en la alimentación, esta especie ha sido incluida en el Programa Nacional Trigo (PN-Trigo) del Instituto Nacional de Innovación

Agropecuaria y Forestal (INIAF), con el propósito de desarrollar y proveer variedades de trigo para los diversos ambientes del país. Una de las partes fundamentales de este proceso es la evaluación de ensayos comparativos de diferentes variedades de trigo respecto al rendimiento ya que el desabastecimiento de este cereal tiene sus raíces en las limitaciones agroecológicas, por lo que está siendo agudizado por la presencia de factores adversos como la sequía; el cual limita a la producción triguera (Crespo y Gabriel, 2001). Frente a estos acontecimientos de inseguridad

alimentaria y limitaciones climáticas, se estableció el ensayo de diez variedades de trigo en condiciones del altiplano central de Bolivia con el propósito de establecer variedades que cuenten con rendimientos potenciales para desarrollarse principalmente al clima, al stress hídrico y a las diferentes adversidades (heladas, sequías y granizadas) que presenta el contexto, los cuales son aspectos considerados influyentes en la productividad de este grano.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el departamento de Oruro ubicado en el municipio de Caracollo de la localidad Condoriri a 17°32'07,06" latitud Sur y a 67°14'01,43" longitud Oeste de la gestión agrícola 2013-2014. El material genético utilizado corresponde a diez variedades de trigo harinero seleccionadas por el PN-Trigo (INIAF): Tepoca, Anzaldo, Charcas, Americano, Tiraque, Redención, Centenario, Totora, Chullchuncaneño y Yampará, establecidos con una densidad de siembra a razón de 100 kg*ha⁻¹. La investigación se instaló en un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones en sur-

cos de 4 m de longitud y 0.25 m entre surcos. Las variables registradas fueron: altura de planta (AP), reacción al desgrane (RD), número de espigas por m² (NEM), longitud de espiga (LE), densidad de espiga (DES), número de espiguillas por espiga (NEE), número de granos por espiga (NGE), tipo de grano (TGR), tamaño de grano (TG), peso de mil granos (PMG), peso hectolítico (PH) y rendimiento de grano (RDTO). Se realizó un análisis de estadística descriptiva, análisis de varianza y se realizó la prueba de Duncan. También se hizo un análisis multivariado; así como el coeficiente de correlación múltiple, análisis de componentes principales.

Resultados y discusión

El análisis de estadístico descriptivo, permitió describir el comportamiento de las diferentes variedades de trigo harinero en relación a cada característica estudiada, se observó que las variables en estudio se encuentran dentro de los criterios estadísticos permitidos con un reducido grado de concentración de datos de los valores centrales con asimetrías ligeramente sesgada y una curtosis ligeramente platycúrtica y leptocúrtica.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), número de espiguillas por espiga (NEE), número de granos por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítico (PH) y rendimiento en grano (RDTO), evaluadas en el estudio del Rendimiento en diez variedades de trigo en condiciones del altiplano Central de Bolivia correspondiente a la campaña agrícola 2013-2014.

Variables	Rango	Mínimo	Máximo	Media	DE	Varianza	Asimetría	Curtosis
AP ^c	31.50	59.50	91.00	76.66	6.44	41.49	-0.23	1.27
NEM	343.00	455.00	798.00	645.73	111.68	12472.62	-0.35	-1.26
LE ^c	4.50	7.00	11.50	8.65	1.32	1.75	0.62	-0.84
NEE	8.00	10.00	18.00	13.73	2.02	4.06	0.07	-0.71
NGE	24.00	30.00	54.00	41.20	6.05	36.58	0.07	-0.71
PMG ^d	14.00	34.00	48.00	38.33	3.42	11.68	1.38	1.49
PH ^o	7.37	71.23	78.59	74.26	1.79	3.20	0.18	0.01
RDTO ^e	2205.00	790.00	2995.00	1449.47	595.91	355114.12	1.06	0.27

^ccentímetros (cm); ^dgramos (g); ^okilogramos por hectolitro (kg*hL⁻¹); ^ekilogramos por hectárea (kg*ha⁻¹)
DE (Desviación estándar).

El rendimiento promedio alcanzado fue 1449 kg*ha⁻¹, con una desviación estándar de 595, presentando un máximo de 2995 y un mínimo de 790 kg*ha⁻¹, mostrando una amplia variación entre las variedades de trigo harinero. Las variables que más contribuyeron sobre la productividad fueron: número de espigas por metro con un promedio de 645 espigas, expresando una amplia variación de 455 a 798 espiga por metro. En tanto que el número de espiguillas en promedio fue 14 unidades, los cuales varían entre

10 y 18 espiguillas, con 41 granos en promedio por espiga, donde el mínimo es 30 y el máximo es de 54 granos (Tabla 1).

Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas en el rendimiento de las variedades. Las variables número de espiguillas por espiga, número de granos por espiga y peso de mil granos mostraron significancia expresando claramente que las variables difieren en las variedades lo cual muestra que al menos uno de los tratamientos tiene un promedio diferente. En

cuanto a las variables altura de planta, número de espigas por metro cuadrado, longitud de espiga y peso hectolítrico no muestran diferencias estadísticas significativas entre las variedades. Este hecho resulta importante debido a la variabilidad existente para identificar variedades sobresalientes en condiciones del altiplano central boliviano, aunque el comportamiento de las diferentes variedades podría enmascarar la identificación de genotipos sobresalientes (Balbuena *et al.*, 2008).

Según la prueba de rango múltiple de Duncan, el rendimiento formó cinco grupos, el primero fue la variedad Anzaldo con un rendimiento promedio de 2445 kg*ha⁻¹, el segundo conformada por la variedad Chullchuncaneño con 2138 kg*ha⁻¹, el tercero

agrupada por las variedades Tiraque y Redención con rendimientos de 1600 y 1469 kg*ha⁻¹, esta variedades citadas con anterioridad tienen los rendimientos más sobresalientes, en relación a las demás variedades como Totora, Centenario, Americano, Charcas, Tepoca y Yampara que tienen rendimientos por debajo a 1400 kg*ha⁻¹, las cuales muestran respuestas no muy favorable en las condiciones del altiplano. Gabriel *et al.* (2013), observaron que la variedad Anzaldo, muestra tolerancia al estrés hídrico por sequía. Es posible que el rendimiento máximo logrado por esta variedad en el altiplano se deba a la tolerancia que posee el genotipo, puesto que las condiciones hídricas en estas zonas pueden afectar el rendimiento.

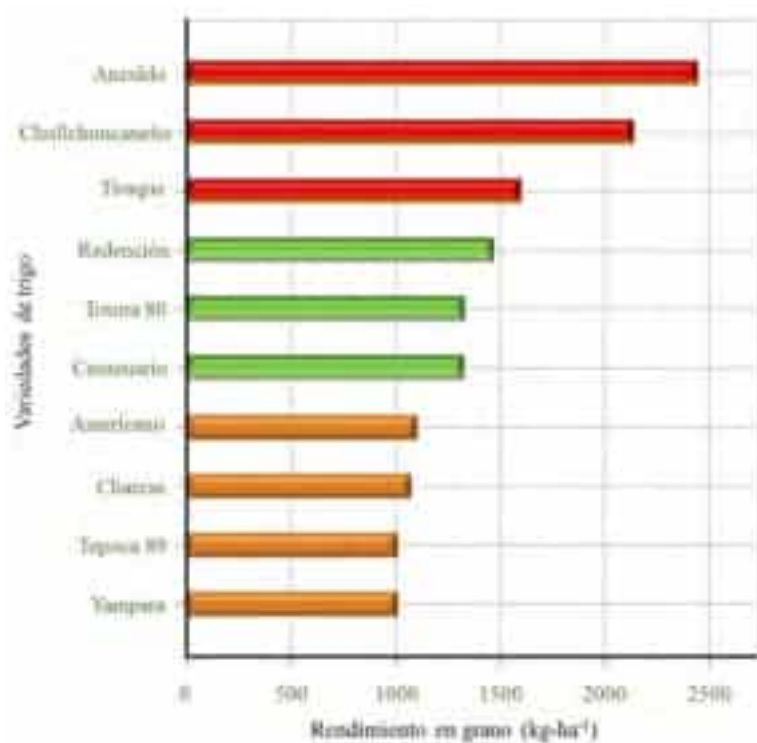


Figura 1. Ranking de rendimiento de diez variedades de trigo harinero evaluadas en el altiplano central d Bolivia, correspondiente a la campaña agrícola 2013-2014.

En la matriz de correlación múltiple de Pearson muestra que el rendimiento tiene una asociación positiva con número de espigas por metro ($r = 0.542$, $P < 0.002$), número de espiguillas por espiga ($r = 0.444$, $P < 0.002$) y número de granos por espiga ($r = 0.444$, $P < 0.002$). Este resultado nos muestra que las características número de granos por espiga (NGE) y número de

espiguillas por espiga (NEE) aportan significativamente por lo que constituyen dos variables útiles predictores del rendimiento en grano de variedades de trigo. Se puede considerar también variables importantes y de fácil medición siendo una de las alternativas para realizar procesos de identificación y selección en cuanto al rendimiento de refiere.

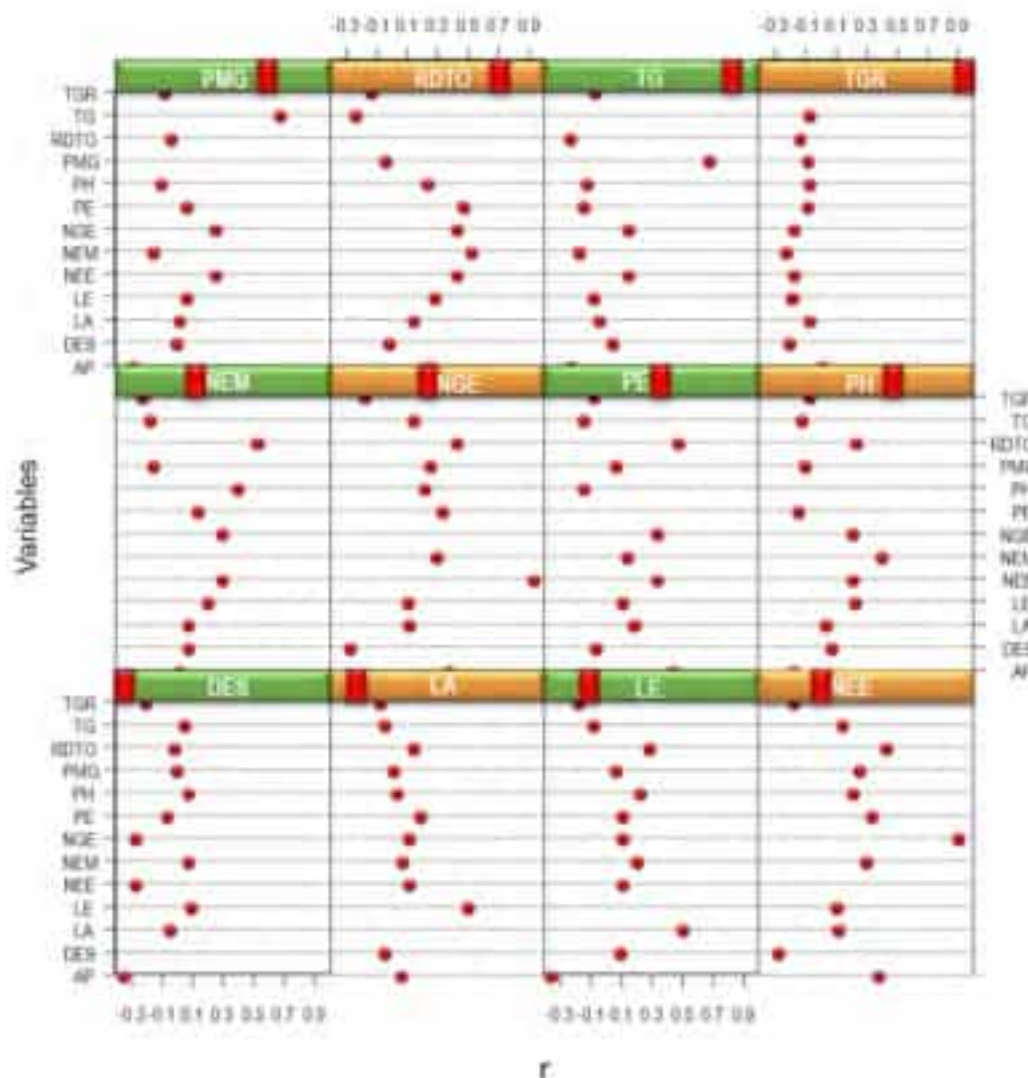


Figura 2. Coeficientes de correlación de variables cuantitativas y cualitativas en el ensayo de rendimiento de diez variedades de trigo harinero evaluadas en el altiplano central de Bolivia en la campaña agrícola 2013-2014. Los caracteres evaluados corresponden a las variables: altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM), longitud de espiga (LE), número de espiguillas por espiga (NEE), número de granos por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento en grano (RDTO),

Otra asociación importante fue la característica número de granos por espiga que correlacionó significativamente con número de espiguillas por espiga ($r = 0.930$, $P < 0.000$) lo cual nos muestra una dependencia entre ambas. Al respecto Zeeshan *et al.* (2014), indican que el alto coeficiente de correlación positiva en el número de espigas, longitud de espiga, número de espiguillas por espiga y número de granos por espiga puede contribuir en el aumento del rendimiento de grano.

Se realizó el análisis de los componentes principales para explorar las variables los cuales expresan sus resultados tanto en valores como en vectores propios (Rojas, 2003). Se seleccionó los tres primeros componentes significativos que explican el 73.9 % de la varianza total según el criterio establecido por Kai-

ser (1960). El primer componente principal contribuyó con más del 30 % de la varianza y según los coeficientes se identificó a las variables rendimiento en grano (RDTO), número de espigas por metro (NEM), peso hectolítrico (PH), reacción al desgrane (RD) y altura de planta (AP) como las características más importantes ya que estas fueron las que más aportaron en forma positiva y de forma negativa la variable tipo de grano.

El segundo componente principal contribuyó con el 24.3 % de la varianza total donde las variables: peso de mil granos (PMG), tipo de grano (TG), número de granos por espiga (NGE), número de espiguillas por espiga (NEE) y longitud de espiga (LE) aportaron de forma positiva, mientras que reacción al desgrane (RD) de forma negativa.

El tercer componente contribuyó con más del 19.1 % de la varianza y las variables que más aportaron en forma positiva fueron densidad de la espiga (DES), longitud de espiga (LE), peso hectolítrico (PH) y número de espiguillas por

espiga (NEE). De forma negativa las variables número de granos por espiga (NGE) y altura de planta (AP).

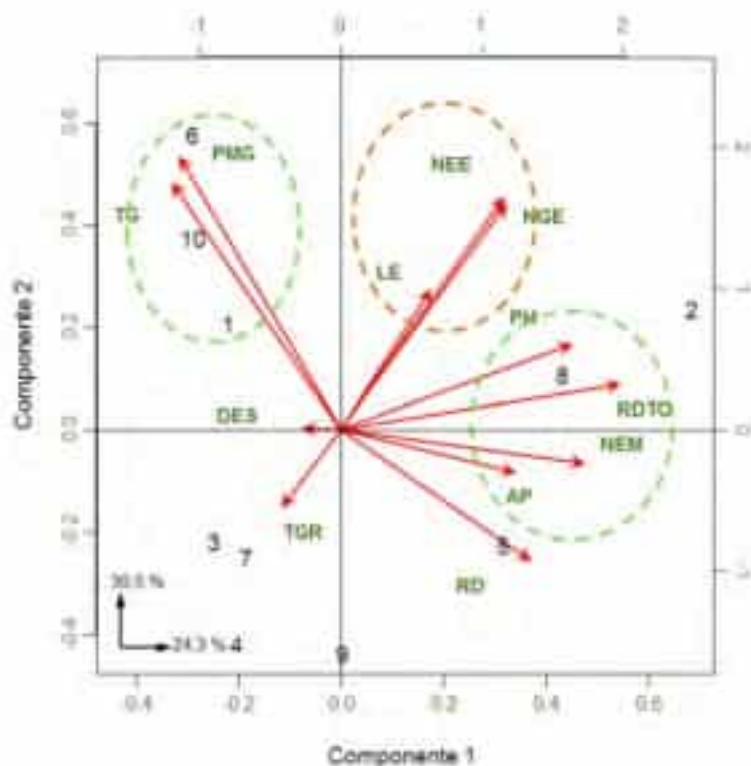


Figura 3. Biplot en el ensayo de rendimiento en grano de diez variedades de trigo harinero evaluadas en el altiplano central de Bolivia, durante la campaña agrícola 2013-2014. Las características evaluadas fueron: altura de planta (AP), número de espigas por m² (NEM), longitud de espiga (LE), número de espiguillas por espiga (NEE), número de granos por espiga (NGE), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento de grano (RDTO).

Para observar la relación de las variedades de trigo en estudio se graficó los dos primeros componentes donde se puede apreciar la variabilidad de cada uno de los genotipos en estudio permitiendo visualizar la asociación de los mismos.

En la figura 3 se observa a las características más vinculadas de forma positiva con el primer eje, entre ellos se tiene a rendimiento en grano (RDTO), número de espigas por metro (NEM), peso hectolítrico (PH) y altura de planta (AP). Las características más relacionadas con el segundo eje y de forma positiva es número de granos por espiga (NGE), número de espiguillas por espiga (NEE) y longitud de espiga (LE). Además del peso de mil granos con tamaño de grano. Se puede observar también el grado de relación entre las diferentes variables determinada por el ángulo de separación que forman los vectores considerando también la distancia al origen ya que mientras más distantes sea mayor será su contribución. Se puede señalar categóricamente la importancia de las asociaciones que

forman cada uno de los tres grupos e indicar que las variables rendimiento (RDTO), número de espigas por metro (NEM) y número de granos por espiga (NGE), número de espiguillas por espiga (NEE), peso de mil granos (PMG) y tamaño de grano (TG) muestran un importante aporte al rendimiento en grano por la magnitud de los vectores mostrados.

Conclusiones

Se ha identificado la variedad Anzaldo como sobresaliente con un rendimiento promedio de 2445 kg*ha⁻¹. La variedad Chullchuncaneño 2138 kg*ha⁻¹ y las variedades Tiraque y Redención con rendimientos de 1600 y 1469 kg*ha⁻¹, en relación a las demás variedades como Totorá, Centenario, Americano, Charcas, Tepoca y Yampara que tuvieron rendimientos por debajo a 1400 kg*ha⁻¹ las cuales no muestran respuestas favorable en condiciones del altiplano central de Bolivia.

Se ha seleccionado dos componentes principales, el primero que contribuyó con más del 30.5 % de la varianza y según los coeficientes se identificó a las variables rendimiento en grano (RDTO), número de espigas por metro (NEM), peso hectolítrico (PH), reacción al desgrane (RD) y altura de planta (AP) como las características más importantes ya que estas fueron las que más aportaron en forma positiva y de forma negativa la variable tipo de grano. El segundo componente que contribuyó con el 24.3 % de la varianza total donde las variables: peso de mil granos (PMG), tipo de grano (TG), número de granos por espiga (NGE), número de espiguillas por espiga (NEE) y longitud de espiga (LE) aportaron de forma positiva, mientras que reacción al desgrane (RD) de forma negativa.

Se establecieron las correlaciones de mayor importancia como las que formaron las variables rendimiento que tiene una asociación positiva con número de espigas por metro ($r = 0.542$, $P < 0.002$), número de espiguillas por espiga ($r = 0.444$, $P < 0.002$) y número de granos por espiga ($r = 0.444$, $P < 0.002$) los cuales constituyen variables útiles predictores del rendimiento en grano de variedades de trigo.

Referencias citadas

- Balbuena, M. A.; González, H. A.; Rosales R. E.; Domínguez, L. A.; Franco, M. O. y Pérez, L. D. J. 2008. Identificación de genotipos sobresalientes de trigo en el valle de Toluca, México. Agricultura Técnica en México. 34(2): 257-261.
- Benítez, R. I. 2001. Comportamiento de líneas S3, de trigo derivadas de poblaciones mejoradas por selección recurrente. Rev. Fitotec. 24(1): 63-70.
- Ceballos, H. 2003. Genética cuantitativa y fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 524 p.
- Demey, J. R.; Adams, M. y Freitas, H. 1994. Uso del método de análisis de componentes principales para la caracterización de fincas agropecuarias. Agronomía Tropical. 44(3): 475-497.
- Ferraguti, F.; Castellarín, J.; Albrecht, R. *et al.* 2013. Rendimiento y estabilidad de variedades de trigo durante la campaña 2012. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. 1-10 p.
- Gabriel, J.; Veramendi, S. y España, P. 2013. Validación de marcadores moleculares para resistencia a sequía en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) bajo condiciones de invernadero. J Selva Andina Res Soc., 4(1):2-17.
- Kaiser HF. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. Educational and Psychological Measurement. 20:141-151.
- Kohli, M. M.; Viedma, L. de y Cubilla, L. E. 2012. Manual del Productor, Guía para la Producción de Trigo. MAG/DIA/CRIA/CAPECO. Asunción, Paraguay. 40 p.
- Marza, F.; Butrón, R.; Canelas, J.; Huallpa, B.; Tenorio, J.; Villegas, R. y Gutiérrez, G. 2014. Variabilidad fenotípica de 50 líneas de trigo Adaptadas a Condiciones Semi-Aridas. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal – INIAF. 3(1): 9-15.
- Oz, M.; Karasu, A.; Goksoy, A.; y Turan, Z. 2009. Interrelationships of agronomical characteristics in soybean (*Glycine max*) grown in different environments. Int. J. Agric. Biol. 11:85 - 88.
- Peña, D. 2002. Análisis de datos multivariantes. 1-515 p.
- Rojas W. 2003. Análisis de la variabilidad genética en quinua. En: Franco TL, Hidalgo R (eds.). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico N° 8, IPGRI, Cali, Colombia. pp. 27-39.
- Zeballos, H. H. 2014. Desarrollo del sector triguero en Bolivia: Desafíos y oportunidades. IBEC (Instituto Boliviano de Comercio Exterior), Santa Cruz, Bolivia. 3-10p.
- Zeeshan, M.; Arshad, W.; Imran, K. M.; Ali, S.; Nawaz, A. y Tariq, M. 2014. Heritability, trait association and path coefficient studies for some agronomic characters in synthetic elite lines of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed conditions. RRJAAS. 3 (4): 10-12.

“INIAF – Yesera” Nueva variedad de trigo biofortificado para el Departamento de Tarija

Félix Marza, Gilberto Gutiérrez, Butrón Roberto, Félix Quispe, Benjamín Huallpa, Lisett Vaca y Erwin Jerez
Programa Nacional de Trigo, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), Av. Panamericana km 2.5, Tarija, Bolivia
gilbertoguster@gmail.com

Resumen

INIAF – YESERA es una nueva variedad de trigo biofortificado (*Triticum aestivum*) que fue socializado el 2014. Actualmente se trabaja en la multiplicación de semilla para poner a disposición de los productores para el cultivo comercial. La variedad INIAF–YESERA tiene un rendimiento promedio de 2800 kg*ha⁻¹ con un potencial de rendimiento hasta 3600 kg*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: Trigo, biofortificado, calidad.

Introducción

INIAF – YESERA es la nueva variedad de tipo alternativo (invernal – primaveral) y primer trigo biofortificado que se presenta y se libera en el departamento de Tarija, con el fin de ocupar un importante nicho en la región occidental del país de Bolivia. El trigo es un alimento de primera necesidad en la población boliviana, constituye un alimento de alto consumo en hogares de bajos ingresos económicos y además es parte de la dieta de la población en general. En el área rural de la región occidental del país y del departamento de Tarija, el trigo se consume preparado como: pan, cupis, sopas, tostado, fideos y otros, razón por la cual es uno de los cultivos de mayor importancia para los agricultores de estas regiones ya que se asegura la alimentación de las familias rurales del país.

En esta región productora de trigo la deficiencia de consumo de hierro y zinc provoca diversos problemas en el crecimiento, ocasionando un gran porcentaje de desnutrición en la población infantil. Por tales situaciones y en línea con los nuevos paradigmas de mejoramiento, el INIAF a través del Programa Nacional de Trigo, está trabajando con la generación de cultivares de trigo biofortificados que surge como la estrategia sostenible para lograr la solución de la micro desnutrición o hambre oculta. El

programa logro consolidar su estructura poblacional en base a las líneas de investigación identificadas. Un aspecto fundamental para este significado paso fue la introducción de material genético de trigos biofortificados del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

La variedad INIAF – YESERA, se evaluó por primera vez por el Programa Nacional de Trigo en los departamentos de Cochabamba y Chuquisaca con buenos resultados, posteriormente se evaluó en el departamento de Tarija donde las actividades de mejoramiento se iniciaron a partir 2013/14 con la implementación del ensayo de rendimiento en biofortificados 2HPYT en la localidad de Yesera Norte. Durante la prueba del ensayo se evaluaron 11 líneas avanzadas más un testigo, donde la variedad INIAF –YESERA (Línea 427 del ensayo) alcanzó los mejores rendimientos a nivel experimental con 4500 kg*ha⁻¹ y seleccionada por productores durante las evaluaciones participativas realizadas durante el ciclo del cultivo. En la tabla 4, se presentan las medias referentes a las variables evaluadas a partir de la prueba de significancia de Tukey. Así para la variable rendimiento se tiene las líneas 427, 414, 426 y 415 que muestran los mayores rendimientos con 4500, 4124, 4075 y 3998 kg*ha⁻¹ respectivamente.

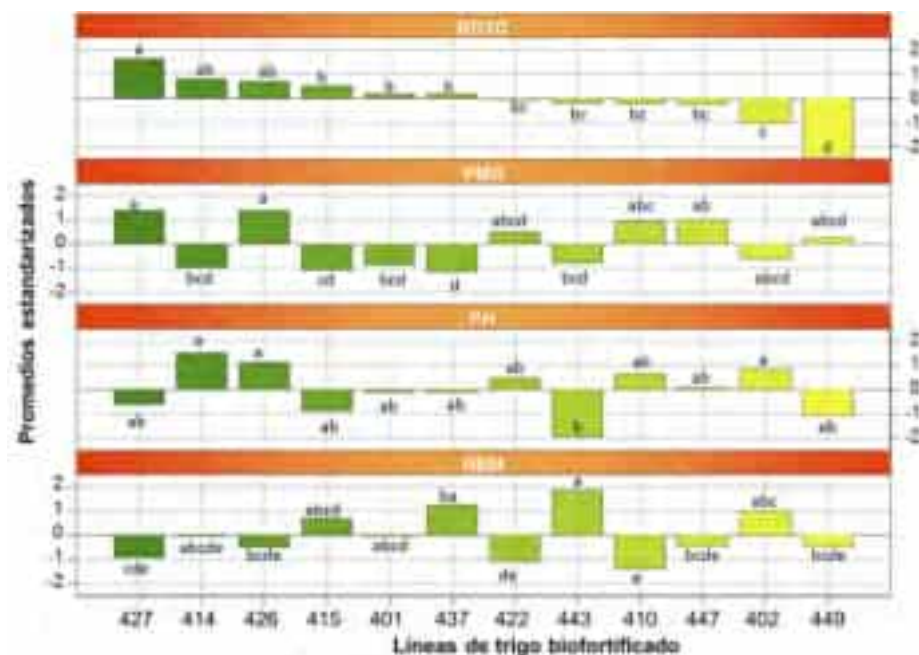


Figura 1. Promedios estandarizados para RDTO (rendimiento), PMG (peso de mil granos), PH (peso hectolítico) y NEM (número de espigas por metro) de trigo biofortificado, evaluadas en la localidad Yesera Norte durante la campaña agrícola 2013-2014.

Por otra parte en la figura 1, se presentan los resultados de las parcelas de validación agronómica de 6 líneas avanzadas más un testigo, donde se puede observar que INIAF – YESERA se

destaca por su potencial de rendimiento alcanzando $3662 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ superando al testigo variedad testigo Br-18 en $1727 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

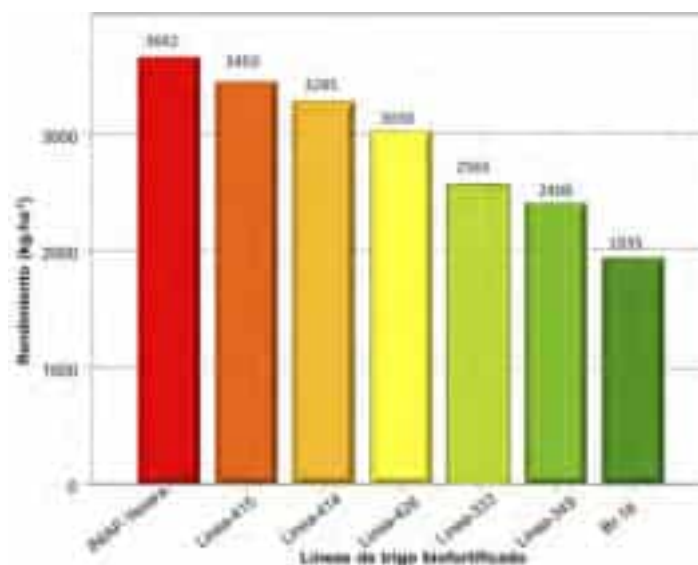


Figura 2. Rendimiento en grano ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) en los ensayos de validación durante la gestión 2015 en las localidades de Yesera Norte y Chaguaya.

Esta variedad además de tener un rendimiento superior como se observa en la figura 1, contiene a $16,51\%$ de proteína, $4,9 \text{ mg} \cdot 100^{-1}$ de Zinc y $3,5 \text{ mg} \cdot 100^{-1}$ de hierro parámetros superiores a las variedades tradicionales que actualmente se cultivan en el país. Estos registros cumplen con todos los com-

ponentes deseables para la elaboración de pan, cualidades que lo hacen favorable para fines industriales y por otra parte ser utilizado como un mejorador de otras harinas con bajo contenido de los parámetros mencionados.

Referencias citadas

- Machado, A.T.; Machado C.T.T. 2004. Melhioramiento vegetal participativo comenfasena eficiencia nutricional. Embrapa Cerrados 39p. (Documentos/ Embrapa Cerrados, 104).
- Hernández, V.B; Guzmán, 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 Forestal, 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.