

Selección de genotipos de trigo harinero de alta productividad y características de rendimiento en condiciones edafoclimáticas del altiplano boliviano

Selection of high yielding wheat genotypes and yield characteristics in the edaphoclimatic conditions of the bolivian highland

Franklin Santos^{1*} y Félix Marza²

¹Universidad Pública de El Alto. Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales.
Carrera de Ingeniería Agronómica

²Prof., Universidad Pública de El Alto. Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales.
Carrera de Ingeniería Agronómica

Av. Sucre, Z. Villa Esperanza, El Alto, Bolivia.

*Autor para correspondencia: ssantoss19@hotmail.com

Recibido: 15 noviembre 2017; Publicado: 30 junio 2018

Resumen

El trigo harinero es un cultivo de importancia nacional en Bolivia. Así, el objetivo del estudio, fue seleccionar genotipos de alta productividad e identificar características de rendimiento de trigo harinero en condiciones edafoclimáticas del Altiplano Boliviano. El experimento, fue realizado durante el ciclo agrícola 2014-2015, en la Estación Experimental Kallutaca, de la Universidad Pública de El Alto. Se evaluaron quince genotipos de trigo harinero, siendo estas en la categoría de líneas elite, provenientes del Programa Nacional de Trigo, del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El delineamiento estadístico utilizado, fue en bloques completamente al azar, con 3 repeticiones. Las características días a floración, días a madurez, altura de planta, longitud de espiga y peso de mil granos; área foliar y rendimiento de grano, presentaron diferencias significativas ($P < 0,01$ y $0,05$). El genotipo L315, presentó rasgos de precocidad (180 días) y los rendimientos de grano promedio, fueron de 1899 kg ha^{-1} a 4944 kg ha^{-1} . Los genotipos L327, L329 y L315, fueron seleccionadas, en función de la precocidad y productividad. El análisis de coeficiente de sendero, identificó componentes de efecto directo e indirecto.

Palabras clave: Coeficientes de sendero, Altiplano, trigo harinero, componentes de rendimiento.

Abstract

Bread wheat is a crop of national importance in Bolivia. Thus, the objective of the study was to select high productivity genotypes and identify yield characteristics of bread wheat, under edaphoclimatic conditions of the Bolivian Altiplano. The experiment was carried out during the 2014-2015 agricultural cycle, at the Kallutaca Experimental Station, of the Public University of El Alto. Fifteen genotypes of bread wheat were evaluated, being these in the category of elite lines, coming from the National Wheat Program, the National Institute of Agricultural and Forestry Innovation (INIAF), and the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). The statistical delineation used was completely random blocks, with 3 repetitions. The characteristics days to flowering, days to maturity, height of plant, length of ear and weight of thousand grains; leaf area and grain yield, presented significant differences ($P < 0.01$ and 0.05). The genotype L315, showed precocity traits (180 days) and the average grain yields were 1899 kg ha^{-1} to 4944 kg ha^{-1} . The

genotypes L327, L329 and L315 were selected, depending on precocity and productivity. The path coefficient analysis identified components of direct and indirect effect.

Key words: Path analysis, highland, bread wheat, yield components.

Introducción

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es ampliamente cultivado a nivel mundial, ocupa un área de 219 millones de hectáreas, con una producción de 772 millones de toneladas y un rendimiento promedio de 3,5 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2017). En Bolivia, el trigo es un alimento de primera necesidad; sin embargo, en los últimos diez años, los rendimientos promedios oscilaron entre 885,6 kg ha⁻¹ y 1720,8 kg ha⁻¹, con una producción promedio de 132.657,4 a 337.599,0 toneladas. Lo que deriva a fortalecer el proceso de generación tecnológica, como uno de los componentes clave para dinamizar la cadena de valor (INE & MDRyT, 2018).

El rendimiento de grano es una de las variables más complejas y de importancia económica. Además, la información sobre el control genético de este rasgo y sus características es útil para un programa de mejoramiento (Kaukab, Saeed, & Rehman, 2014). Asimismo, Villafaña et al. (2014), reportaron que el rendimiento de grano, es un rasgo cuantitativo complejo, resultante de la interacción entre diferentes caracteres relacionados a productividad y el factor ambiental. El incremento de los índices de productividad, se debe en parte a la utilización de nuevos cultivares y técnicas agronómicas, asociado a una mayor comprensión de los componentes fisiológicos, que determinan el crecimiento y

rendimiento de trigo (Kalimullah et al., 2012; Villafaña et al., 2014).

Mitigar los impactos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos, es una tarea crucial para la seguridad alimentaria (Xiao, Bai, & Liu, 2018). Asseng et al. (2014) verificaron que el calentamiento global, tiende a disminuir los rendimientos en gran parte de las zonas productoras de trigo. También, proyectaron que la producción global de trigo, disminuirá entre 4,1 y 6,4 % por cada 1 °C adicional de temperatura máxima del aire. Las tendencias actuales de rendimiento, el crecimiento poblacional y la presión del medio ambiente, hacen que los mejoradores de plantas desarrollen de forma constante, nuevos cultivares con altos índices de productividad y tolerantes a factores bióticos y abióticos (Atlin, Cairns, & Das, 2017; Challinor et al., 2014).

El clima, en el Altiplano de Bolivia puede ser extremo y severo, gran parte de esta región experimenta temperaturas mínimas, a menudo por debajo de -3 °C, pero en la región, más al sudoeste de Bolivia, las temperaturas pueden ser mucho más cálidas y más secas (Andrade, 2018). Por tanto, se traduce a un desbalance fisiológico, que puede afectar al rendimiento. Bajo esta situación, en la última década la región altoandina de Bolivia, presentó un rendimiento promedio de 732,1 kg ha⁻¹ y una producción de 5.678,1 toneladas de trigo en promedio. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue seleccionar genotipos de alta productividad e identificar características de rendimiento de trigo harinero, en condiciones edafoclimáticas del Altiplano Boliviano, que contribuyan a mejorar la producción y productividad de los agricultores.

Materiales y métodos

El experimento se realizó durante el ciclo agrícola 2014-2015, en la Estación Experimental de Kallutaca, de la Universidad Pública de El Alto (16°31'17" S; 68°18'29" O, 3890 m.s.n.m.). La temperatura media anual varía de 8 a 11 °C; la precipitación media anual es 400 mm, de las cuales, el 80% ocurre entre noviembre a abril (Loza-Murguía et al., 2011). El suelo presenta una textura franco arcilloso a limo arcilloso y pertenece a orden Entisol de formación fluvio-lacustre con presencia de problemas de drenaje.

Se evaluaron 15 genotipos de trigo harinero, siendo estas en la categoría de líneas elite, provenientes del Programa Nacional de Trigo, del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El delineamiento estadístico utilizado, fue en bloques completamente al azar, con 3 repeticiones. Cada unidad experimental, consistió de 5 hileras de 4 m de largo y espaciados a 0,25 m. La siembra, se realizó la segunda quincena, de septiembre del 2014, a una densidad de 100 kg ha⁻¹. El tipo de labranza, fue convencional (tradicional), en un suelo en rotación (anterior cultivo papa). Considerando esta situación, se suministró una fertilización base, en forma localizada en el surco de siembra, consistente en 50 kg ha⁻¹ de fosfato di amónico (18-46-0) y 100 kg ha⁻¹ de urea (46-0-0). A partir de la primera semana de siembra, hasta noviembre, se efectuaron riegos por surco con una frecuencia semanal. El cultivo se mantuvo libre de malezas, mediante control manual.

El análisis estadístico de los datos, fue desarrollado

a través del Sistema de Análisis Estadístico [R y Genes (Cruz, 2013)]. Los datos cuantitativos continuos, fueron sometidos a un análisis de varianza. Las medias, fueron comparadas mediante el test de Duncan, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$). Para determinar los componentes de rendimiento, se realizaron análisis de coeficientes de sendero. Este análisis, fue desarrollado por Wright (1921), que consiste en explicar las asociaciones entre diferentes características y clasificar las correlaciones entre ellas, como efectos directos e indirectos. La selección de genotipos, se realizó en función a las características evaluadas, para la cual se realizó comparación con diagrama de estrellas (Pebesma, 2018). Las variables evaluadas fueron: días a emergencia (DE), número de macollos (NM), días a floración (DF), días a madurez (DM), altura de planta (AP), área foliar (AF), número de espigas por metro (NEM), número de granos por espiga (NGE), longitud de espiga (LE), número de espiguillas por espiga (NEE), tipo de grano (TGR), peso de mil granos (PMG), peso hectolítrico (PH) y rendimiento (RDTO).

Resultados y discusión

La temperatura mínima del aire durante la investigación osciló entre 2,4 a -4,9 °C, bajo estas condiciones se manifestaron las heladas. Esta condición se presentó durante dos trimestres de desarrollo del cultivo. En la primera etapa, los genotipos de trigo harinero fueron tolerantes, y durante el último trimestre del ciclo fenológico, la helada originó efectos negativos para los genotipos de ciclo tardío. Las temperaturas máximas, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, fueron más elevadas (Figura 1).

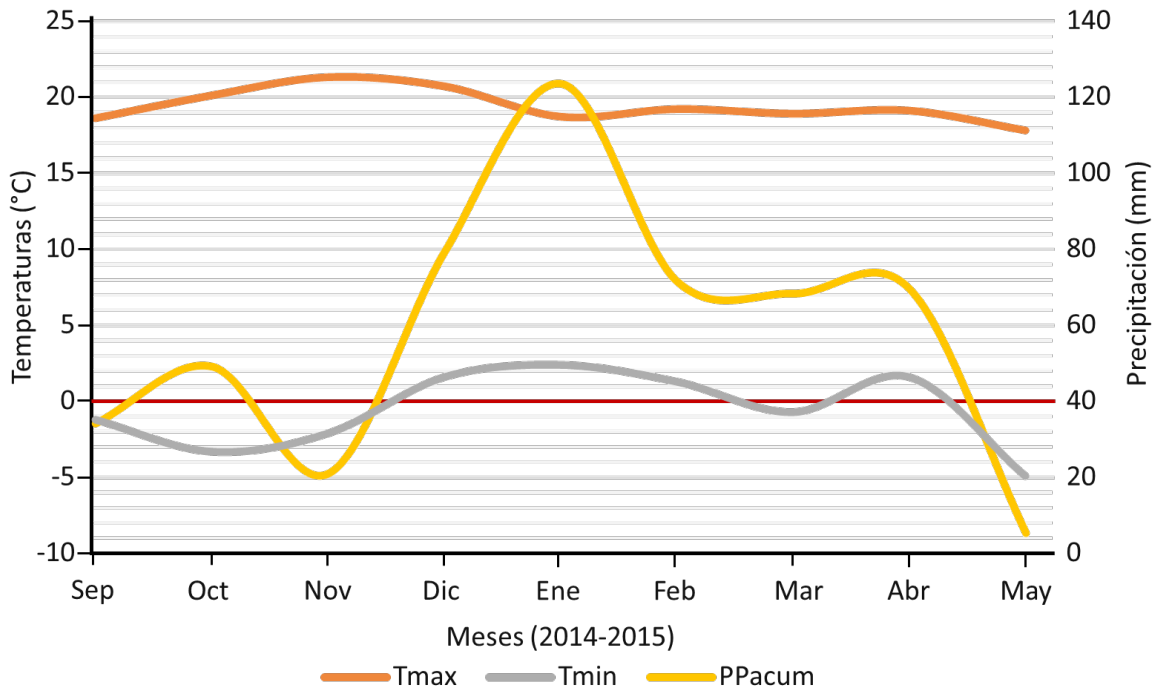


Figura 1. Comportamiento climático de las variables: precipitación acumulada (PP.), temperaturas mínimas del aire (T Min) y temperaturas máximas del aire (T Max), en la Estación Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2014-2015.

Las características de días a floración, días a madurez, altura de planta, longitud de espiga y peso de mil granos, revelaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$); sin embargo, el área foliar y el rendimiento de grano, mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$). Asimismo, los coeficientes

de variación, se encuentran dentro de los parámetros permisibles. Por tanto, las diferencias significativas en el análisis de varianza, soportan la prueba de promedios para días a floración, días a madurez fisiológica y rendimiento de grano.

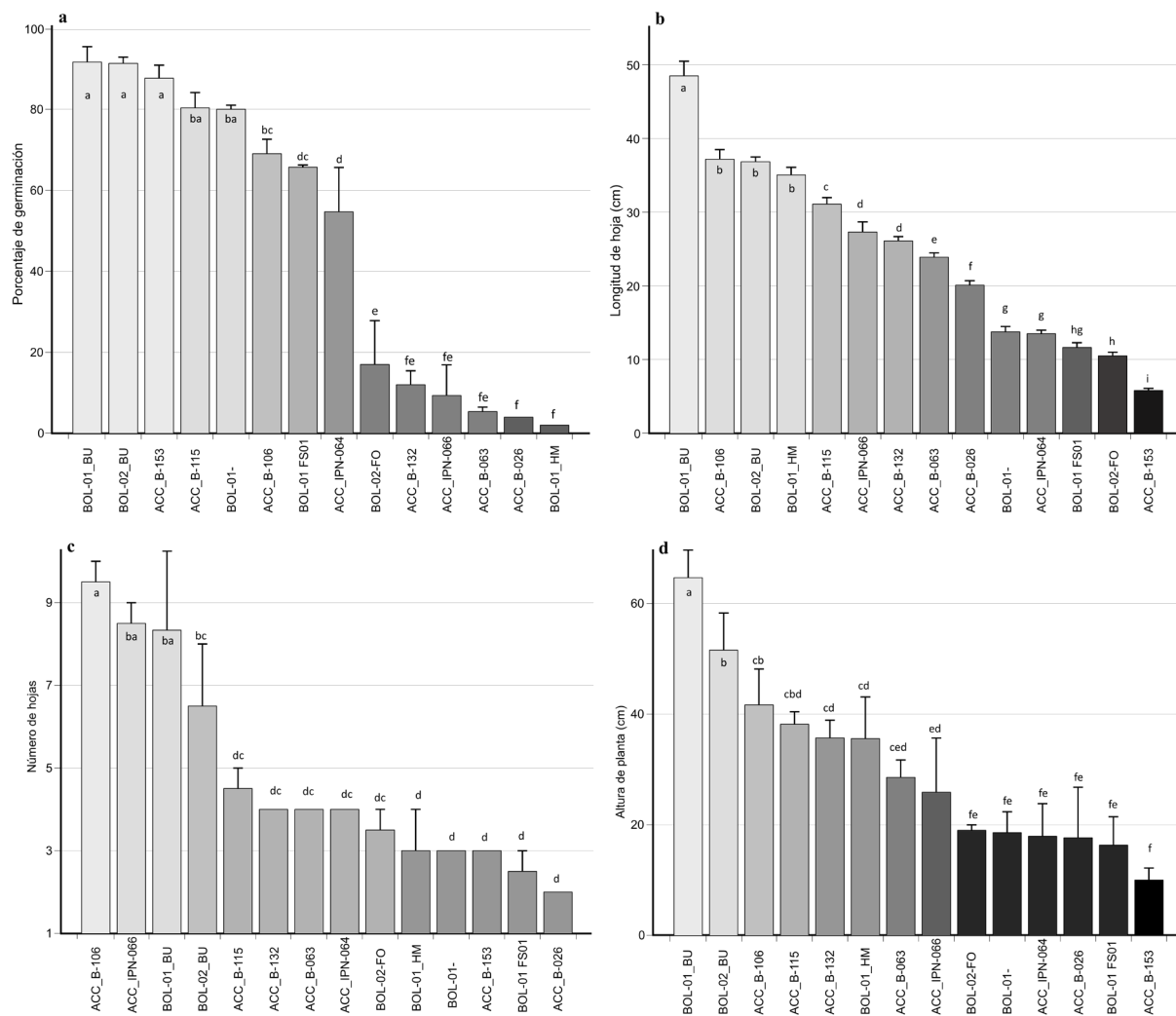


Figura 2. Comparación de promedios Duncan ($\alpha=0,01$; gl error= 28) para las variables (a) días a floración, (b) días a madurez, (c) longitud de espiga y (d) rendimiento de grano de 15 genotipos de trigo harinero.

La madurez fisiológica se clasificó en siete grupos significativamente diferentes. En el último grupo (e) se encuentra el genotipo L315, que concluyó su ciclo en $180 \pm 2,5$ días promedio (Figura 2b). Por tanto, es considerada como la más precoz en términos de madurez; sin embargo, fue relativamente tardía en términos de floración, donde fue clasificada en el grupo (ba) (Figura 2a). En el grupo (ed) se encuentran los genotipos L331, L307, L321 y L327 con una madurez entre $184 \pm 3,2$, 185 ± 4 , $186 \pm 4,5$ y $187 \pm 1,2$ días respectivamente; y tuvieron una floración moderadamente precoz. Los genotipos

más tardíos se encuentran en los grupos (a y ba), en la cual se encuentran los genotipos L311, L301, L347 y L339; en este grupo se encuentra el testigo cv. Tepoca 89 (L301), con 203 ± 1 días (Figura 2b).

En la Figura 2d, el primer grupo (a) integra al genotipo L327, con un rendimiento de $4944 \pm 1058,2$ kg ha⁻¹ en promedio; el mismo genotipo presentó mayor longitud de espiga (Figura 2c). En el segundo grupo (ba), se encuentra la línea L313, con un rendimiento promedio de $4593 \pm 474,1$ kg ha⁻¹. Los genotipos L329 y L315 ($4108 \pm 853,8$ y $3593 \pm 986,8$ kg ha⁻¹ respectivamente), se ubican en el grupo

(bac); en los mismos se observaron mayor longitud de espiga, que osciló entre $9,27 \pm 1,46$ y $9,00 \pm 0,62$ cm. La línea horizontal segmentada en la Figura 2d, se refiere al rendimiento promedio general de los 15 genotipos evaluados (3343 kg ha^{-1}). En tanto, existe genotipos que se encuentran clasificados en los tres últimos grupos (bac, bc y c), con un rendimiento de grano por debajo del promedio general de la investigación.

La presencia de temperaturas mínimas del aire bajo cero, durante el llenado de grano en la etapa de grano lechoso e inicios de masoso-suave en trigo harinero, disminuye los índices de productividad y calidad panadera (Martínez et al., 2015). Al-Issawi et al. (2013); Chakrabarti et al. (2011) y Thakur et al. (2010), reportaron que las temperaturas del aire de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ en la fase de floración provocan la esterilidad del polen y ovulo, lo que imposibilita la formación

Tabla 1. Análisis de coeficientes de sendero del rendimiento de grano (RDTO) y las características relacionadas en 15 genotipos de trigo harinero.

Variable	Efecto	Coeficientes	
		Sendero	Correlación
TGR [†]	directo sobre RDTO	-0,138	0,574*
	indirecto vía NEM	0,413	
	indirecto vía LE	0,224	
	indirecto vía NEE	-0,744	
	indirecto vía PMG	0,575	
NEM [¥]	directo sobre RDTO	0,816	0,346
	indirecto vía TGR	-0,070	
	indirecto vía LE	0,125	
	indirecto vía NEE	-0,719	
	indirecto vía PMG	0,318	
LE ^{††}	directo sobre RDTO	0,482	0,685**
	indirecto vía TGR	-0,064	
	indirecto vía NEM	0,212	
	indirecto vía NEE	-0,805	
	indirecto vía PMG	0,319	
NEE [£]	directo sobre RDTO	-1,295	0,480*
	indirecto vía TGR	-0,079	
	indirecto vía NEM	0,453	
	indirecto vía LE	0,300	
	indirecto vía PMG	0,528	
PMG [€]	directo sobre RDTO	0,757	0,389
	indirecto vía TGR	-0,105	
	indirecto vía NEM	0,342	
	indirecto vía LE	0,203	
	indirecto vía NEE	-0,902	
Coeficiente de determinación		0,941	
Efecto de la variable residual		0,243	

**=significancia estadística (P<0,01); *=significancia estadística (P<0,05); †=tipo de grano; ¥=número de espigas por metro; ††=longitud de espiga; £=número de espiguillas por espiga y €=peso de mil granos.

de grano, en consecuencia, el rendimiento de los cereales se reduce. Estos hallazgos, podrían ser considerados para aquellos genotipos que presentaron rendimientos inferiores al promedio general; ya que, en este último trimestre, se registraron temperaturas mínimas del aire.

El coeficiente de correlación es útil para medir el grado y la dirección de asociación entre los rasgos. Sin embargo, puede generar resultados engañosos porque el alto grado de correlación entre dos rasgos puede ocurrir debido al efecto indirecto de un tercero (Nogueira et al., 2012). Por tanto, es necesario explorar la relación de causa y efecto entre las variables. El análisis de coeficiente de sendero divide el coeficiente de correlación entre rasgos en efectos directos e indirectos utilizando variables principales y explicativas (Santos, Marza, Butrón, & Quispe, 2015). En nuestro estudio, consideramos el rendimiento del grano de trigo harinero como la variable dependiente y los otros rasgos como independientes.

En la Tabla 1, se presentan los resultados de los coeficientes de sendero, que refieren a los efectos directos e indirectos a nivel fenotípico de los rasgos evaluados sobre la variable dependiente

(rendimiento de grano). En este análisis, la variable número de espigas por metro (NEM) presentó efectos directos de mayor magnitud (0,816); sin embargo, el coeficiente de correlación fue baja, pero positiva (0,346). Los efectos indirectos se evidencian a través de número de espiguillas por espiga (NEE), pero de forma negativa (-0,719), donde el aumento de NEM de trigo podría ser despectivo en la cantidad de espiguillas. La segunda variable de mayor capacidad fue peso de mil granos (PMG), que presentó efecto directo sobre rendimiento de grano (0,757). Longitud de espiga (LE) fue la última variable que tuvo un efecto directo sobre rendimiento (0,482), con una correlación significativa ($P<0,01$; $r=0,685$); sin embargo, tuvo un efecto indirecto positivo vía peso de mil granos (0,319). Asimismo, tipo de grano (TGR) participó de forma indirecta a través de PMG (0,575) y NEM (0,413), con una correlación positiva y significativa ($P<0,01$; $r=0,574$). Estos resultados, son similares a los encontrados por Mecha et al. (2017) y Santos et al. (2015), donde número de espigas por metro y peso de mil granos son los caracteres principales indicados para la selección directa de las poblaciones de trigo, con el objetivo de aumentar el rendimiento del grano.

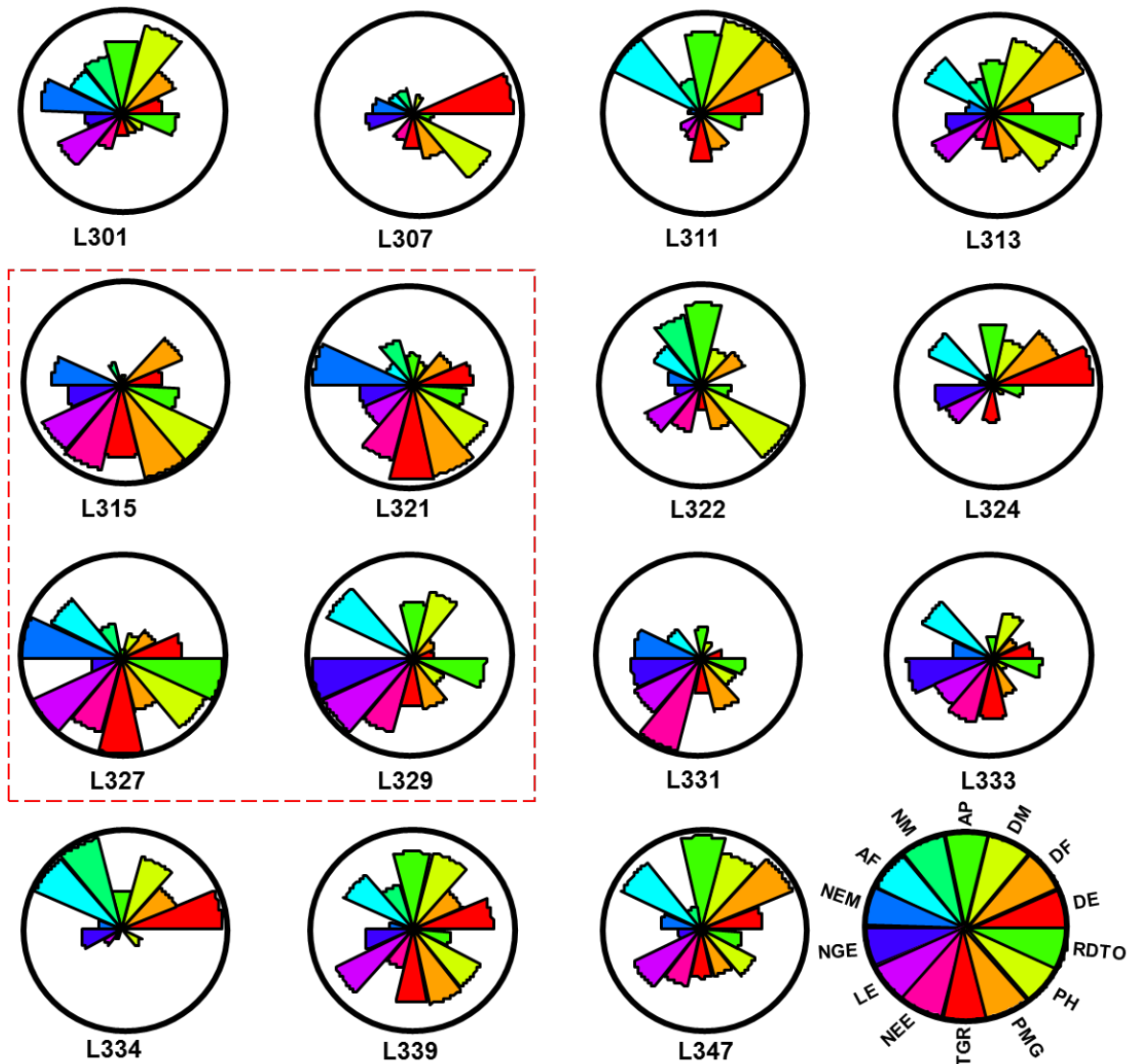


Figura 3. Diagrama de estrellas de 15 genotipos de trigo harinero para las variables DE (días a emergencia), DF (días a floración), DM (días a madurez), AP (altura de planta), NM (número de macollos), AF (área foliar), NEM (número de espigas por metro), NGE (número de granos por espiga), LE (longitud de espiga), NEE (número de espiguillas por espiga), TGR (tipo de grano), PMG (peso de mil granos), PH (peso hectolítrico) y RDTO (rendimiento de grano).

En la Figura 3 se muestra un análisis estandarizado de las variables evaluadas de cada genotipo de trigo harinero. Esta ilustración de estrellas muestra la particularidad de cada individuo, en la cual se puede destacar especímenes tempraneros y de altos índices de producción. En condiciones del altiplano boliviano, los genotipos L327, L329, L315 y L321 se desprende de los demás, por presentar

características deseables en cuanto a rendimiento de grano, peso hectolítrico, tipo de grano, longitud de espiga, número de espigas por metro lineal y área foliar. Por otro lado, tiene características de precocidad y una altura de planta moderada. Por tanto, estos genotipos cuentan con características deseables para un programa de mejoramiento, debido a las características sobresalientes en

precocidad, productividad y calidad fenotípica de grano, para las condiciones edafoclimáticas del Altiplano Boliviano.

Conclusión

Los genotipos L327, L329 y L315 fueron seleccionadas en función a precocidad, productividad y calidad fenotípica, asimismo, su manifestación genética sería óptima en condiciones altoandinas de Bolivia. El número de espigas por metro lineal, peso de mil granos y longitud de espiga, son componentes de efecto directo, para incrementar el rendimiento de grano. Por tanto, deberían ser consideradas en los procesos de selección y mejoramiento de trigo harinero en condiciones del altiplano boliviano.

Referencias

- Al-Issawi, M., Rihan, H. Z., El-Sarkassy, N., & Fuller, M. P. (2013). Frost Hardiness Expression and Characterisation in Wheat at Ear Emergence. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(1), 66-74. doi:10.1111/j.1439-037X.2012.00524.x
- Andrade, M. F. (2018). Atlas-Clima y eventos extremos del Altiplano Central Perú-boliviano/ Climate and extreme events from the Central Altiplano of Peru and Bolivia 1981-2010. (188 p.). doi:10.4480/GB2018.N01
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., . . . Zhu, Y. (2014). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5, 143-147. doi:10.1038/nclimate2470
- Atlin, G. N., Cairns, J. E., & Das, B. (2017). Rapid breeding and varietal replacement are critical to adaptation of cropping systems in the developing world to climate change. *Global Food Security*, 12, 31-37. doi:10.1016/j.gfs.2017.01.008
- Chakrabarti, B., Singh, S., Nagarajan, S., & Aggarwal, P. (2011). Impact of temperature on phenology and pollen sterility of wheat varieties. *Australian journal of crop science*, 5(8), 1039-1043.
- Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S. M., Smith, D. R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4, 287-291. doi:10.1038/nclimate2153
- Cruz, C. D. (2013). *Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics*. Acta Scientiarum. Agronomy, 35(3), 271-276. doi:10.4025/actasciagron.v35i3.21251
- FAOSTAT. (2017). Producción de cultivos. Recabado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- INE, (Instituto Nacional de Estadística), & MDRyT, (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras). (2018). *Superficie, producción y Rendimiento promedio del grano de trigo, perteneciente a las campañas agrícolas 2008 a 2018*. Recabado de <http://www.ine.gob.bo/indice/indice.aspx?d1=0201&d2=6-http://observatorio.ruralytierras.gob.bo/>
- Kalimullah, S., Khan, J., Irfaq, M., & Rahman, H. (2012). Genetic variability, correlation and diversity studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *J. Anim. Plant Sci*, 22(2), 330-333.
- Kaukab, S., Saeed, M. S., & Rehman, A. (2014). Genetic analysis for yield and some yield traits in spring wheat. *Universal Journal of Agricultural Research*, 2, 272-277.
- Labuschagne, M. T., Elago, O., & Koen, E. (2009). The influence of temperature extremes on some quality and starch characteristics in bread, biscuit and durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 184-189. doi:10.1016/j.jcs.2008.09.001

- Loza-Murguía, M. G., Acho, R., Arce, A., Huaycho, R., Aruhiza, N., & Mamani, S. (2011). The population of earthworms *Lumbricus* spp. on the plateau of La Paz, Bolivia. *Ciencia e Investigación Agraria*, 38(3), 415-423. doi:10.4067/S0718-16202011000300011
- Martínez, E., Villaseñor, H. E., Hortelano, R., Pérez, P., & Espitia, E. (2015). El efecto de las bajas temperaturas sobre la calidad industrial del trigo de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 793-802.
- Mecha, B., Alamerew, S., Assefa, A., Dutamo, D., & Assefa, E. (2017). Correlation and Path Coefficient Studies of Yield and Yield Associated Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 6(5), 128-136. doi:10.15406/apar.2017.06.00226
- Nogueira, A. O., Sedyama, T., Sousa, L. B., Hamawaki, T., Cruz, C. D., Pereira, D. G., & Matsuo, E. (2012). *Path analysis and correlations among traits in soybean grown in two dates sowing*. *Biosci J.*, 28(6), 877-888.
- Pebesma, E. (2018). stars: Scalable, Spatiotemporal Tidy Arrays: R package version 0.2-0.
- Santos, F., Marza, F., Butrón, R., & Quispe, F. (2015). Correlación y coeficientes de sendero para variables agronómicas y componentes de rendimiento de trigo harinero. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*, 1(6), 54-60.
- Thakur, P., Kumar, S., Malik, J. A., Berger, J. D., & Nayyar, H. (2010). Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67(3), 429-443.
- Villafaña, T. L., Morales, E. J., Estrada, G., & Martínez, C. G. (2014). Determinantes ecofisiológicos del rendimiento en tres cultivares de trigo en función y fraccionamiento del nitrógeno. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 405-419.
- Wright, S. (1921). Correlation and causation. *Journal of agricultural research*, 20(7), 557-585.
- Xiao, D., Bai, H., & Liu, D. L. (2018). Impact of Future Climate Change on Wheat Production: A Simulated Case for China's Wheat System. *Sustainability*, 10(4), 1277. doi:10.3390/su10041277