

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. Los 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 ^ψ	3	0,65	0,61	-0,07	2	5
TG ^ϕ	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
ϕ 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.

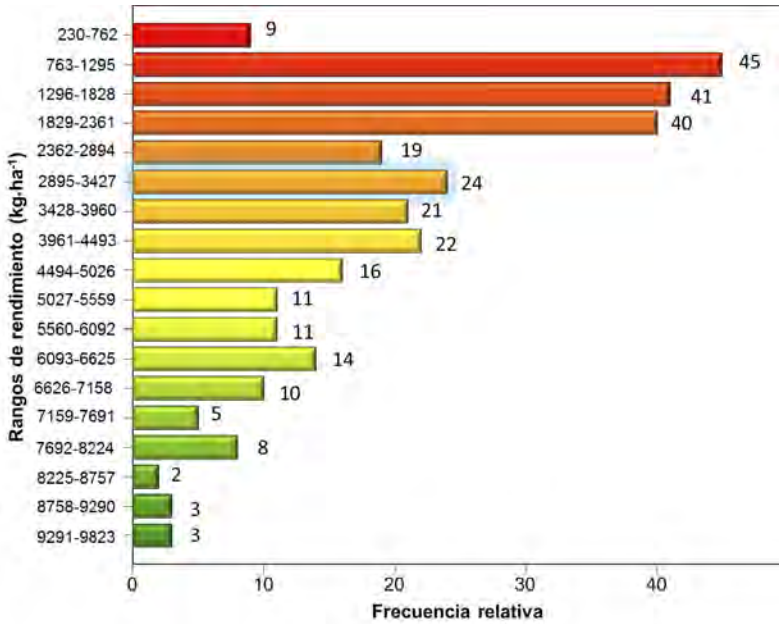


Figura 1. Valoración de rangos para la variable rendimiento de 304 genotipos de trigo harinero, estudio conducido en la localidad de San Benito-Cochabamba, durante la campaña agrícola 2014-2015.

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).

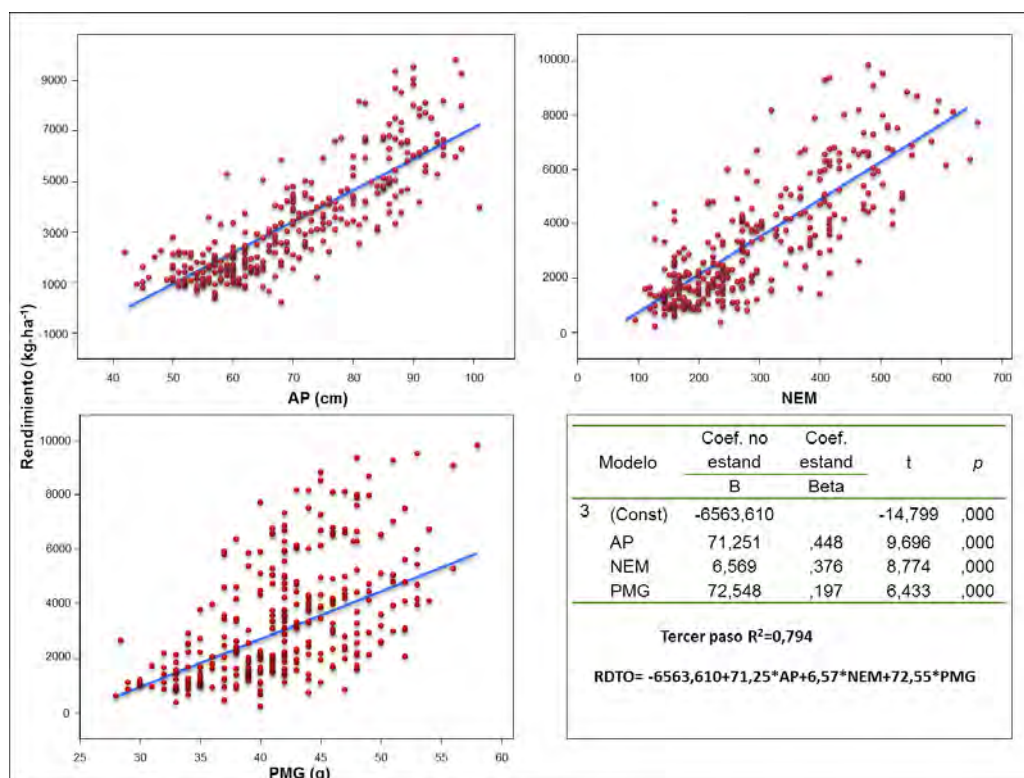


Figura 2. análisis de regresión múltiple, método pasos sucesivos para la variable dependiente rendimiento; las variables seleccionadas son altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM) y peso de mil granos (PMG) de trigo harinero en el estudio llevado a cabo en la localidad de San 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 ($r=0,846, 0,805, 0,676, 0,581, y 0,569$ 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.

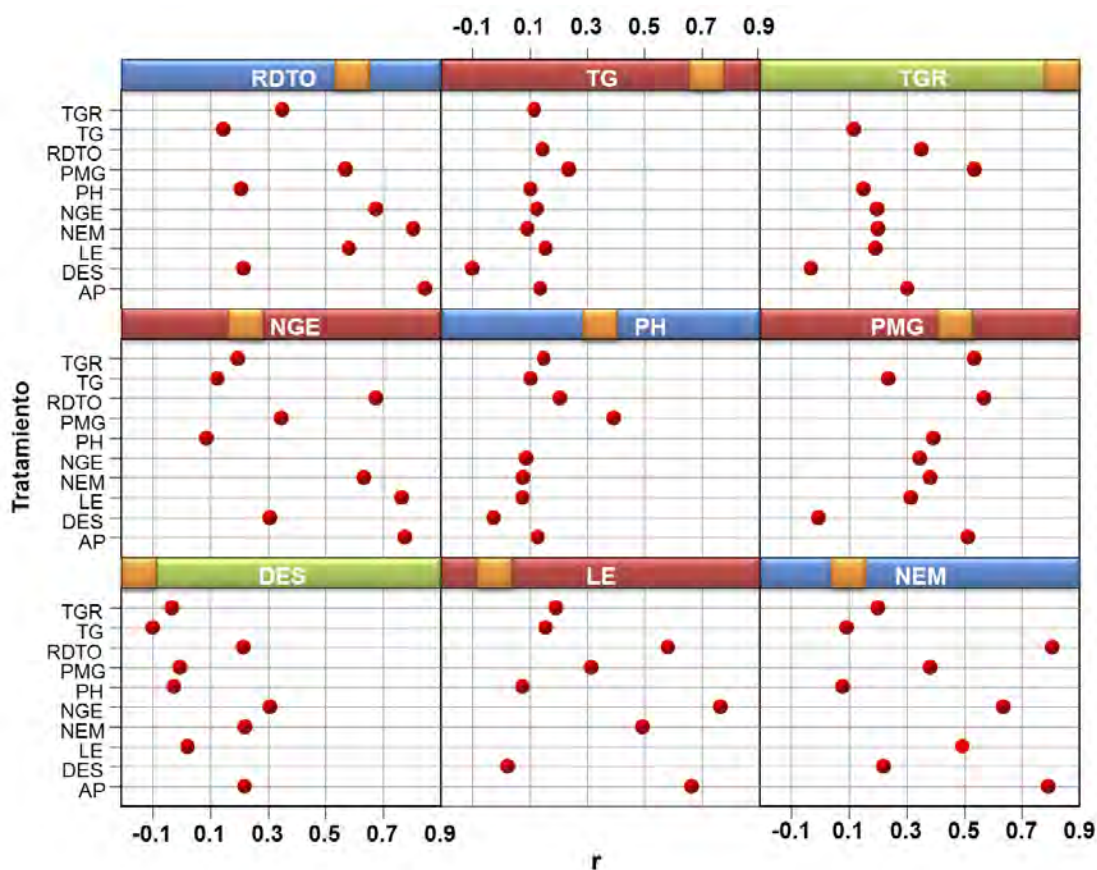


Figura 3. Multipanel de coeficientes de correlación entre los rasgos relacionados con el rendimiento. Los rasgos son rendimiento (RDTO), tipo de grano (TGR), tamaño de grano (TG), peso de mil granos (PMG), peso hectolítico (PH), número de granos por espiga (NGE), número de espigas por metro cuadrado (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 hectolítico (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.

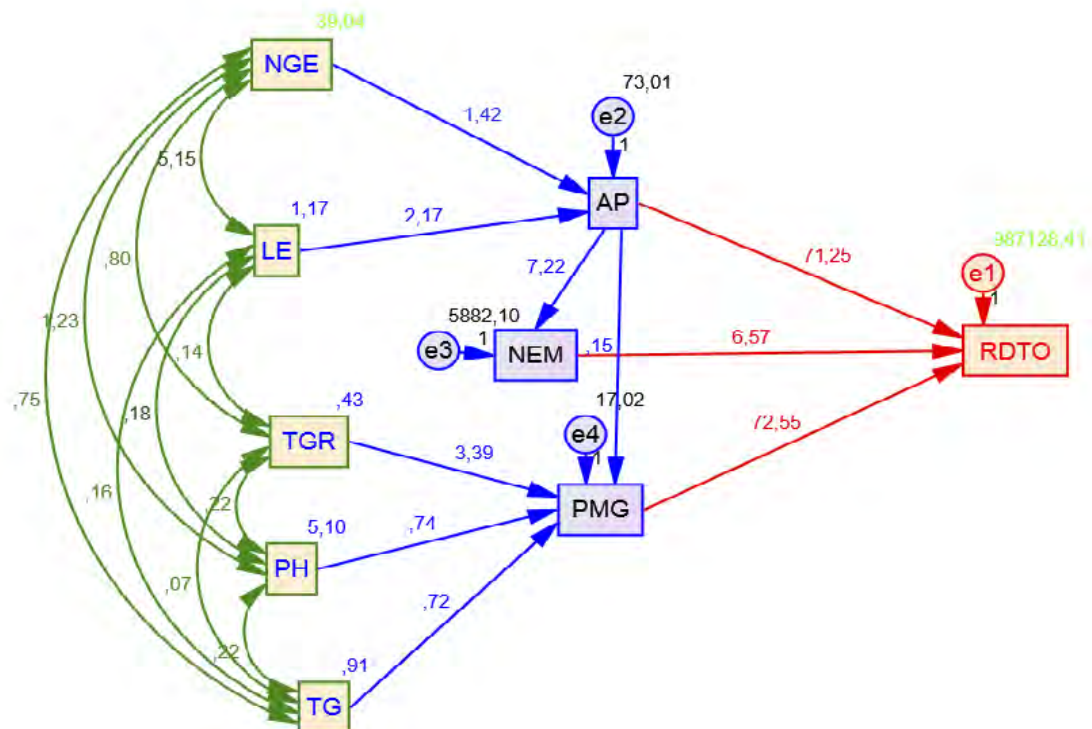


Figura 4. Path analysis (coeficientes de sendero) para rendimiento (RDTO), las variables directas son altura de planta (AP), número de espigas por metro cuadrado (NEM), peso de mil granos (PMG) y como indirectas son número de granos por espiga (NGE), longitud de espiga (LE), tipo de grano (TGR), peso hectolitrico (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 hectolitrico, 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;Talai, 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.