TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

COMPONENTES DE RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE CEBADA EN EL BAJÍO DE MÉXICO

José Gómez Espinoza*[1,2]; Alfredo Josué Gámez-Vázquez[1]; María Guadalupe Gómez Espinoza[3]; Anabel Flores Lee[4]; Miguel Ángel Guzmán Altamirano[5]; Miguel Ángel Avila-Perches[1]

[1]INIFAP, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Km. 6.5, C.P. 38010, Celaya, Guanajuato, México. [2]Departamento de Posgrado, TecNM-Roque, Carretera, Juventino Rosas - Celaya Km.8, C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México. [3]Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica de Pénjamo. Carretera Irapuato-La piedad km 44, predio El Derramadero, Pénjamo, Guanajuato, México CP 36921,[4]Departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, Cuitzeo de los Naranjos CP 36976, Abasolo Gto. [5]Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México/Instituto-Tecnológico superior de Irapuato, carretera Irapuato-Silao km 12.5, Col. El Copal, Irapuato, Guanajuato MÉXICO aperchesm@yahoo.com.mx

RESUMEN

El rendimiento de cebada se ve afectado por diferentes variables, como lo puede ser el ambiente dentro del cual hoy en día las altas temperaturas llegan a afectar el rendimiento, por lo cual es importante evaluar los componentes de rendimiento que afectan a este. La producción de cebada en México se ve reflejada en dos ciclos, primavera-verano y otoño-invierno, donde la producción durante el 2023 fue de 832,037 t. En este estudio se evaluaron diez genotipos de cebada en condiciones de riego durante el ciclo 2022-2023 donde se usaron 10 genotipos de cebada: cinco de dos hileras en la espiga: VE1, VE2, VE3, Metcalfe y Explorer, las tres primeras experimentales y las dos últimas son variedades extranjeras. Además, cinco de seis hileras: VE7 (experimental), Alina, Estelar, Esperanza, materiales liberados por el INIFAP y Doña Josefa. Donde se analizaron en análisis de correlación y, además, se evaluó por medio de un análisis por factores. Los resultados demuestran que existe una correlación positiva dentro de algunas variables agronómicas como lo puede ser peso volumétrico, peso de mil granos entre otras. Sin embargo, se observó que existe correlación negativa con proteína, a medida que esta aumenta el rendimiento disminuirá, lo mismo sucede con semillas por espiga. Se pudo concluir que existe variación genética entre las líneas y variedades de cebada por lo cual es fue de suma importancia evaluar la correlación que existe entre las variables analizadas y de esta manera determinar cuáles llegan a tener un efecto positivo/negativo con el rendimiento.

Palabras clave: *Cebada, rendimiento, componentes de rendimiento, material genético.*

ABSTRACT

Barley yield is affected by different variables, such as the environment, where high temperatures currently affect yield, so it is important to evaluate the yield components that affect it. Barley production in Mexico is reflected in two cycles, spring-summer and fall-winter, with production during 2023 reaching 832,037 t. In this study, ten barley genotypes were evaluated under irrigated conditions during the 2022-2023 cycle. 10 barley genotypes were used: five two-row varieties: VE1, VE2, VE3, Metcalfe, and Explorer, the first three experimental, and the last two are foreign varieties. In addition, five six-row varieties: VE7 (experimental), Alina, Estelar, Esperanza, and materials released by INIFAP and Doña Josefa. These variables were analyzed using correlation analysis and factor analysis. The results demonstrate a positive correlation between some agronomic variables, such as volumetric weight and thousand-grain weight, among others. However, a negative correlation was observed with protein; as protein increases, yield decreases, and the same is true for seeds per ear. It was concluded that genetic variation exists between barley lines and varieties, so it was of utmost importance to evaluate the correlation between the variables analyzed and thus determine which ones have a positive or negative effect on yield.

Keywords: *Barley, yield, yield components, genetic material.*

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de cebada hoy en día se puede ver afectado por diferentes factores como lo puede ser las condiciones ambientales durante el cultivo de cebada. Si bien, el rendimiento se puede ver afectado también lo puede ser la calidad del grano y sus compuestos bioactivos. Las altas temperaturas que se han presentado a lo largo de los últimos años, las cuales han sido elevadas, en el caso de la temperatura en particular las temperaturas más elevadas durante el llenado de grano reducen el peso del grano hasta en un 30% dependiendo del cultivar. Esto dependerá de la variedad de cebada que se use. Por lo tanto, es importante cuantificar los efectos del estrés por calor en los cultivares de cebada, así como cuantificar el efecto que tienen el mismo en la calidad del grano (Rasel, 2017). La cebada es uno de los cultivos con mayor importancia en el mundo, teniendo así que, durante el año 2022 con una producción total de 156,837,140 t. Así mismo, esta producción se ve reflejada en cinco zonas específicas las cuales se nombran a continuación según su valor de producción de cebada; Europa, Asia, América, Oceanía y África (FAO, 2022). En México, durante el 2023 se sembraron alrededor de 297,444 ha con cebada y se obtuvieron 832,037 t, que se manejan en dos épocas. En el ciclo primavera-verano en temporal se sembraron 244,984 ha aproximadamente, mientras que durante el ciclo otoño-invierno se establecieron cerca de 52,460 ha en riego. En nuestro país, el principal estado productor

de este cereal es Guanajuato con alrededor de 143,505 t que representan el 17.2% de la producción nacional (SIAP, 2023).

La cebada (*Hordeum vulgare* L) Es uno de los cereales cultivados más antiguos y ha desempeñado un importante papel en el desarrollo humano debido a que su grano tiene varios usos. Actualmente, dos terceras partes de la producción mundial de cebada se utilizan como forraje, cerca de una tercera parte para maltería y aproximadamente 2% para consumo humano. En México, por el contrario, la producción de cebada se utiliza mayormente para la producción de cerveza (>60%); mientras que el resto es para forraje (34%) y producción de semilla (2%). Sin embargo, Las características genéticas y el manejo agronómico son variables que pueden controlarse, pero algunas propiedades del suelo y lluvia son factores incontrolables, que resultan determinantes para obtener un buen rendimiento y una buena calidad de grano para malta (Gómez-Mercado, 2009). Por otro lado, La calidad de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) es un carácter bastante complejo, debido a que es bastante complejo pues abarca diferentes complejidades como lo puede ser la calidad física del grano o también se ven influenciadas por enzimas sintetizadas durante la germinación (Thomas, 1996). La herencia en los caracteres de calidad de cebada es de tipo cuantitativo y es influida por varios aspectos como o son el genotipo, ambiente y sobre todo la interacción genotipo ambiente lo que lo hace un gran complejo de estudios debido a la gran variación que se pudieran presentar (Sparrow, 1971). Para esto es importante mencionar que el análisis de correlación indica que mide la relación que existe entre la variable dependiente (Y) y la variable independiente (X), ya que se interpreta como el incremento que sufre la variable independiente para lo cual es de suma importancia evaluar lo importante de las variables conforme al rendimiento. Por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar la asociación de características agronómicas con el rendimiento de cebada en El Bajío, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en las parcelas experimentales del (CEBAJ) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Carretera Celaya San Miguel de Allende Kilómetro 6.5, Celaya,anajuato. Cuyas condiciones geográficas son los 101° 48´ 55´´ de longitud oeste del Meridiano de Greenwich y a los 20° 31´24´´ de latitud norte, su altura sobre el nivel del mar es de mil 752 mts. La temperatura máxima es de 25.5°C y la mínima es de 16°C, la media anual es de 20.85°C, su clima oscila entre semiseco y semicálido, con una precipitación pluvial promedio de 575.3 mm anuales. Se encuentra ubicado en el reino Neotropical en la región Xerofitica mexicana y en las provincias denominadas como Mesa Central y Eje

Neovolcánico. En condiciones de riego durante el ciclo 2022-2023 donde se usaron 10 genotipos de cebada: Se evaluaron 10 genotipos de cebada, cinco de dos hileras en la espiga: VE1, VE2, VE3, Metcalfe y Explorer, las tres primeras experimentales y las dos últimas son variedades extranjeras. Además, cinco de seis hileras: VE7 (experimental), Alina, Estelar, Esperanza, materiales liberados por el INIFAP y Doña Josefa (D. Josefa) genotipo liberado por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). Los datos de las variables obtenidas se analizaron estadísticamente con el programa SAS 9.4 (SAS Institute ®, EUA) con un análisis de correlación de Pearson, además de un análisis de correlación por factores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los promedios obtenidos (datos no mostrados) los mayores rendimientos de grano presentaron en Alina (7.66 t ha^{-1}), VE3 (7.44 t ha^{-1}) Y Esperanza con (7.28 t ha^{-1}), mientas que el material que obtuvo los menores rendimientos fue Estelar (5.49 t ha^{-1}) mostrando diferencia significativa entre los materiales genéticos. Por otro lado, para el caso de peso de mil semillas los mejores materiales fueron VE1 y VE3 (45 y 44.2 g) respectivamente. Además, para peso volumétrico el material VE3 Y VE2 fueron los materiales con mayor peso pues obtuvieron valores de 65.8 y 65.5 (kg hL^{-1}). Sin embargo, para la evaluación semillas por espiga los materiales que presentaron valores más altos fueron Esperanza (47.6) y Doña Josefa (46.8) siendo estadísticamente iguales, sin embargo, es importante señalar que estos materiales son de dos hileras, debido a esto el material que presento el menor numero de semillas por espiga fue VE3 pues es un material de dos hieleras y eso puede influir en esta variable. El mayor número de espigas por metro cuadrado se presentó en Metcalfe (520 (kg hL^{-1}). Además, la mayor longitud de espiga se presentó en Prunella, ambos materiales de dos hileras los cuales tuvieron un porte de planta promedio puesto que la mayor altura de planta se presento en VE3 con una altura de 92.8 cm, mientras que el material que presento la menor altura fue Esperanza con apenas 71.60 cm. Es importante señalar que también se evaluaron características químicas, como lo fue, el contenido de almidón donde Prunella, material extranjero, de dos hileras presento el mayor contenido con 64.5 %, además, se evaluó, el contenido de proteína, donde los valores oscilaron entre 11.78 (Doña Josefa) y 13.80 (VE7). Es importante señalar que los materiales evaluados son malteros por lo que es importante buscar que su contenido de proteína sea bajo.

En la evaluación la correlación de Pearson se puede determinar que el RG se correlaciona de manera positiva con el peso de mil granos, almidón, altura de planta, longitud de espiga ($P \leq 0.05$) y peso volumétrico ($P \leq$

0.001). El número de espigas/m2 contribuye al rendimiento de cereales de grano pequeño, debido al efecto aditivo del número de macollos que muestran ciertas variedades de cebada (Castañeda-Saucedo *et al*., 2009). Sin embargo, tuvo correlación negativa con proteína donde se presentó un caso de interdependencia negativa; es decir, que en lo que uno aumentó el otro se redujo, esto se puede deber probablemente al efecto de fuente demanda de carbohidratos durante el llenado de la semilla. El peso de mil granos esta correlacionado con peso volumétrico, altura de planta y longitud de espiga, mientas que presento una correlación negativa con proteína y semillas por espigas. Mientas que el peso volumétrico presenta correlación positiva con almidón, la altura de la planta y la longitud de la espiga, pero esta variable se ve afectada la proteína y el número de espigas por metro cuadrado puesto que a medida que estas variables aumentan el peso volumétrico del grano disminuirá. Para proteína si hubo diferencia significativa en las correlaciones, sin embargo, la correlación es negativa con las variables en el número de granos por espiga almidón y la altura de la planta. Mientras que el número de granos por espigas se ven afectadas por el número de espigas por metro cuadrado, la altura de planta y la longitud de la espiga.

Cuadro1. Análisis de correlación de Pearson de los caracteres evaluados y su relación de interdependencia entre variables evaluadas.

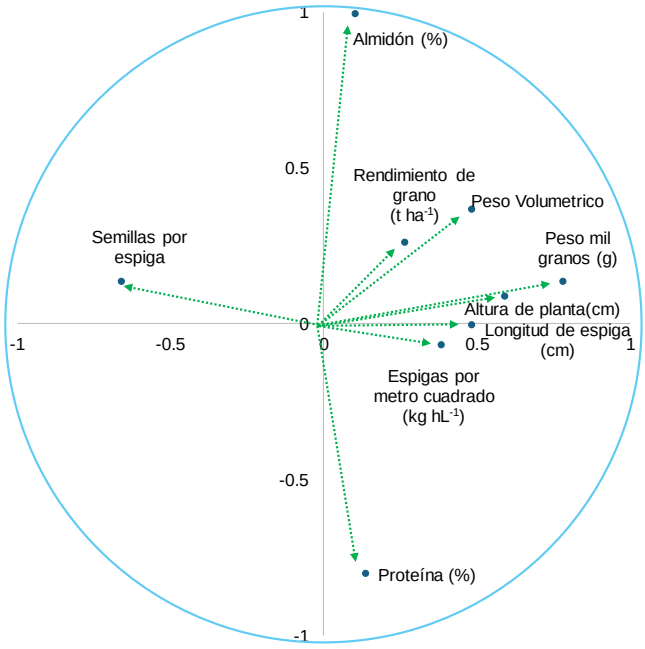
10	RG	PMG	PVOL	PROT	NG/ESP	ESP/m^2	ALMI	AP	LE
RG	1	0.298*	0.330**	-0.406**	0.139	0.153	0.319**	0.324**	0.256*
PMG		1	0.434**	-0.072	-0.504**	0.235*	0.217*	0.533**	0.378**
PVOL			1	-0.133	-0.148	0.105	0.419**	0.356*	0.290*
PROT				1	-0.277*	0.076	-0.791**	-0.015	0.066
SEM/ESP					1	-0.381**	0.077	-0.276*	-0.254*
ESP/m^2						1	-0.026	0.163	0.220*
ALMI							1	0.152	0.049
AP								1	0.290*
LE									1

RG= Rendimiento de grano, PMG= Peso de mil granos, PVOL= Peso Volumetrico, PROT= Proteína, SEM/ESP= Semillas por espiga ESP/m^2= Espigas por metro cuadrado, ALMI= Almidón, AP=Altura de planta, LE= Longitud de espiga

En las variables evaluadas (Figura 1), se observaron cuatro patrones de respuesta diferentes, dentro de los cuales se puede observar que existe una correlación positiva en cuanto a rendimiento y peso volumétrico esto debido a que a manera de que aumente el rendimiento será mayor, lo mismo sucedió en el análisis de correlación de Pearson, sin embargo, con esto corroboramos que efectivamente la correlación entre estas variables es muy buena. La correlación positiva entre el rendimiento de grano y todos los componentes del rendimiento es una indicación de que todos los componentes del rendimiento contribuyen al rendimiento tanto

como se observó que algunos de los componentes del rendimiento no eran significativos en su contribución (Madíc et al., 2009). Para el caso del almidón se ve más fuerte la correlación en este análisis puesto que puesto que a medida que el rendimiento aumente esta ve afectado favorablemente. Lo mismo sucede con la altura de planta, la longitud de espiga y espigas por metro cuadrado. Donde en el caso de esta última tiende a ser tiende a ser más baja la correlación, sin embargo, recordemos que en el análisis de correlación de Pearson no existía significancia por lo cual es de suma importancia analizar los dos tipos de correlaciones y de esta manera reducir el error y hacer un análisis más preciso.

Ahora bien, si observamos el comportamiento de proteína, se ve afectado por los tres patrones de respuesta restantes que se presentan en el plano, pues a medida que el rendimiento aumenta este disminuirá, sin embargo. Si el rendimiento es menor, esto debido a varios factores bióticos o abióticos es contenido de proteína aumentara. Sí bien, al ser materiales malteros debemos considerar estas variables para obtener los resultados deseados. Además, no solo el rendimiento afecta la proteína, esta también se ve afectada por el porcentaje de almidón el cual, a medida que aumente el nivel de proteína disminuirá, o viceversa a medida que disminuya este aumentara. Por otro lado, el número de granos por espiga es otra de las variables que afectan la proteína, el efecto negativo no es tan fuerte como en el caso de almidón, pero si es importante considerar que a medida que este disminuya el contenido de proteína aumentara, por lo cual es importante manejar materiales con buen numero de granos por espiga, sin embargo en el caso de los materiales de dos hileras esta variable se ve afectada, debido a que al tener menor numero de hileras el numero de granos por espiga disminuirá, aunque la limitante hoy en día es que la industria maltera está buscando materiales de dos hileras debido a que son granos mas homogéneos y de esta manera se ve más estable el porcentaje de germinación al momento del malteo.



CONCLUSIONES

Con respecto a las pruebas realizadas, es de suma importancia considerar los componentes que más influyen en la expresión del rendimiento pueden llegar a utilizarse como referencia son peso volumétrico, peso de mil granos, altura de planta, longitud de espiga debido a que se encontraron diferencias significativas por lo cual que existe variación genética entre las líneas y variedades de cebada por lo cual es fue de suma importancia evaluar la correlación que existe entre las variables analizadas y de esta manera determinar cuáles llegan a tener un efecto positivo/negativo con el rendimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castañeda-Saucedo MC; López-Castañeda C; Colinas-de León MT; Molina J; Hernández A (2009). Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. Interciencia 34(4):286-292.

FAO (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de https://www.fao.org/faostat/en/#data/QI

Gómez Mercado RO (2009). Estimation of malting barley (Hordeum vulgare L.) yield by the FAO method. *Agricultura técnica en México, 35*(1): 13-23.

Madić M; Paunović AS; Knežević D; Zečević V (2009). Rendimiento de grano y componentes del rendimiento de dos hileras. Cultivares y líneas de cebada de invierno. Acta Agriculturae Serbica, 14, 17-22.

Rasel RM (2017). Grain filling patterns of barley as affected by high temperature stress. *Journal of Bangladesh Agricultural University, 15*(2), 174-181. doi:0.3329/jbau.v15i2.35059

SIAP (2023). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Sparrow D (1971). Genetics of quality-malting. Washington State University Press, Pullman, Washington, USA., 559-574.

Thomas WW (1996). Quantitative trait loci and malting quality characters in a spring barley cross. *Crop Sci.*, 265-273.