

CARACTERES FISIOLÓGICOS Y AGRONÓMICOS DE LA VARIEDAD DE TRIGO CRISTALINO CIRNO C2008 CONFIRMAN SU ESTABILIDAD GENÉTICA

PHYSIOLOGICAL AND AGRONOMIC TRAITS OF HARD WHEAT CIRNO VARIETY C2008 CONFIRM ITS GENETIC STABILITY

Leandris Argente-Martínez^{1,2}, Jaime Garatuza-Payán^{1*}, M. Magdalena Armendáriz-Ontiveros¹, Enrico A. Yépez-González¹, J. Manuel Garibaldi-Chávez², J. Eliseo Ortiz-Enriquez³, Jorge González-Aguilera⁴

¹Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de febrero, 818 Sur, Ciudad Obregón, Sonora, México. CP. 85000. ²Universidad de Granma, Carretera a Manzanillo, km 17 ½ Peralejo, Bayamo, Cuba. CP. 85100. ³Campo Experimental "Norman Borlaug". Carretera Norman E. Bouleaug-INIFAP. Ciudad Obregón, Sonora, México. ⁴Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, Km 294, Passo Fundo - RS. Brasil. Caixa Postal 451 99001-970.

RESUMEN

Debido a la importancia de la correcta selección de progenitores para una mejora genética efectiva en regiones altamente productoras de trigo como el estado de Sonora, que aporta 50 % del trigo en México, se realizó un estudio de variables morfoagronómicas de la variedad de trigo cristalino CIRNO C2008. El objetivo fue determinar el índice de estabilidad genética de los componentes del rendimiento de grano en los Valles del Yaqui y del Mayo, en las épocas de siembra de 2007-2015. Además se evaluaron caracteres fisiológicos y agronómicos en el ciclo 2015-16 en un área establecida en el CETT-910, como un sitio representativo del Valle del Yaqui, los cuales se compararon con el descriptor varietal y se correlacionaron con el rendimiento de grano para contribuir a su caracterización fitoagronómica. El diseño experimental fue completamente aleatorizado y se tomaron datos de diferentes sitios de dichos Valles del estado de Sonora. El mayor rendimiento en grano se obtuvo en el Valle del Yaqui. Las variables altura de la planta y la longitud de la espiga fueron los componentes del rendimiento con mayor índice de estabilidad genética. Las fenofases de la variedad transcurrieron debidamente sin afectar el ciclo biológico. El rendimiento de grano, en el CETT-910 en el ciclo 2015-2016, fue superior al obtenido por el descriptor varietal como resultado de buen estado nutricional y alta fotosíntesis. Los resultados muestran que CIRNO C2008 mantiene estabilidad genética de los componentes del rendimiento tras ocho años de liberada para la producción agrícola en los Valles del Yaqui y del Mayo.

Palabras clave: trigo, CIRNO C2008, caracteres fisiológicos, estabilidad genética.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2017. Aprobado: octubre, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 52: 419-435. 2018.

ABSTRACT

Due to the importance of the correct selection of progenitors for an effective genetic improvement in highly productive wheat regions such as the state of Sonora, which contributes 50 % of the wheat in Mexico, we conducted a study of morphoagronomic variables of the crystalline wheat CIRNO C2008 variety. The objective was to determine the genetic stability index of the grain yield components in the Valle del Yaqui and Valle del Mayo, during the sowing seasons of 2007-2015. In addition, physiological and agronomic traits were evaluated in the 2015-16 cycle in an area established in CETT-910, as a representative site of the Valle del Yaqui, which were compared with the varietal descriptor and correlated with grain yield to contribute to its physioagronomic characterization. The experimental design was completely randomized and data were taken from different sites of the valleys mentioned in the state of Sonora. The highest grain yield was obtained in the Valle del Yaqui. The variables of plant height and spike length were the components of the yield with the highest index of genetic stability. The variety phenophases occurred properly without affecting the biological cycle. The grain yield in the CETT-910, in the 2015-2016 cycle, was higher than that obtained by the varietal descriptor as a result of good nutritional status and high photosynthesis. The results show that CIRNO C2008 maintains genetic stability of the yield components after eight years of being released for agricultural production in the Valle del Yaqui and Valle del Mayo.

Key words: wheat, CIRNO C2008, physiological characteristics, genetic stability.

INTRODUCCIÓN

Múltiples especies vegetales incluidos los cereales, y en particular el trigo, experimentan un cambio de caracteres morfológicos y fisiológicos que se correlacionan con la estabilidad genética del rendimiento agrícola (Monaco *et al.*, 2014). Esta situación se puede deber al efecto adverso de factores bióticos, abióticos, o ambos, modifican la interacción genotipo-ambiente y hacen vulnerable la expresión del potencial genético-productivo de las variedades (Silva *et al.*, 2016). Tal vulnerabilidad impone la necesidad de realizar el monitoreo del germoplasma disponible en función de caracteres fisiológicos y agronómicos cuando hay variedades establecidas en diferentes regiones y por un tiempo prolongado (Lopes *et al.*, 2015).

El uso de indicadores de rendimiento para examinar la estabilidad genética de las variedades comerciales con años y sitios de exposición al ambiente permite identificar caracteres deseados para programas de mejora cuando aún muestran adaptación a las condiciones edafoclimáticas como, resistencia o tolerancia a estreses biótico y abiótico y que aún expresan su potencial genético productivo (Solís *et al.*, 2016).

Debido a la importancia del cultivo del trigo para la alimentación y que los Valles del Yaqui y del Mayo, estado de Sonora, México, aportan 50 % de la producción nacional de trigo (SAGARPA, 2015), el objetivo del presente estudio fue evaluar caracteres morfológicos, fisiológicos y agronómicos de la variedad de trigo duro CIRNO C2008 para determinar su índice de estabilidad genética del rendimiento de grano y contribuir a su caracterización fisiológica y agronómica tras ocho años de liberada para la extensión agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental

La investigación se realizó en los Valles del Yaqui y del Mayo, como sitios representativos de regiones altamente productoras de trigo de riego en México, donde se siembran cerca de 160 y 97 mil ha, respectivamente, en el Valle del Yaqui (27° 10' a 27° 50' N; 109° 55' a 110° 36' O); y Valle del Mayo (26° 41' N; 109° 30' 50" O), estado de Sonora. El principal cultivo en estos valles es el trigo con un sistema de riego superficial cuya agua proviene de la presa Álvaro Obregón (SAGARPA, 2015). La temperatura

INTRODUCTION

Multiple plant species, including cereals, and wheat in particular, undergo a change in their morphological and physiological traits that correlate with the genetic stability of agricultural yield (Monaco *et al.*, 2014). This situation may be due to the adverse effect of biotic or abiotic factors, or both, modifying the genotype-environment interaction and making vulnerable the genetic-productive potential of the varieties vulnerable (Silva *et al.*, 2016). Such vulnerability imposes the need to perform the monitoring of the germplasm available based on physiological and agronomic characteristics, when there are varieties established in different regions and for a long time (Lopes *et al.*, 2015).

The use of performance indicators to examine the genetic stability of commercial varieties with years and sites of exposure to the environment allows to identify characters for improvement programs when they still show adaptation to edaphoclimatic conditions, such as resistance or tolerance to biotic and abiotic stresses and that still express their productive genetic potential (Solís *et al.*, 2016).

Due to the importance of wheat cultivation for food, and the Valles del Yaqui and del Mayo, in the Sonora state, Mexico, contributing 50 % of the national production of wheat (SAGARPA, 2015), the objective of the present study was to evaluate the morphological, physiological and agronomic characters of the hard wheat variety CIRNO C2008 to determine the genetic stability index of grain yield and contribute to its physiological and agronomic characterization, after eight years of being released for extensive agricultural use.

MATERIALS AND METHOD

Location of the experimental area

The research was carried out in the Valles del Yaqui and del Mayo, as representative sites of highly productive regions of irrigated wheat in Mexico, where about 160 and 97 thousand ha, respectively, are sown in the Valle del Yaqui (27° 30' N; 110° 20' W); and Valle del Mayo (26° 41' N; 109° 30' W), state of Sonora.

The main crop in these valleys is wheat with a surface irrigation system whose water comes from the Álvaro Obregón

del aire en estos valles tiene promedios mínimos y máximos de 0 y 45 °C en invierno y verano respectivamente. Los suelos predominantes se clasifican como barrial compactado y aluvi6n (Ortiz y del Carmen, 2015), descritos con base en la metodología propuesta por Soil Taxonomy (Bhattacharyya *et al.*, 2015).

Índice de estabilidad genética

Para determinar el índice de estabilidad genética de los componentes del rendimiento en grano: altura de las plantas, longitud de la espiga, masa de los granos y rendimiento de grano se utilizó la metodología propuesta por Annicchiarico (1992). Los datos estadísticos de los componentes del rendimiento en grano de la variedad CIRNO C2008 se recopilaron desde el año 2007 hasta el 2015 en los Valles del Yaqui y del Mayo donde se cultiva trigo y en particular la variedad CIRNO C2008 (SAGARPA, 2015).

Principales características de la variedad CIRNO C2008

CIRNO C2008 se clasifica como trigo cristalino o duro (*Triticum durum* L.) y se originó de la selecci6n en poblaciones segregantes de la cruza SOOTY-9/RASCON-37//CAMAYO realizada en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Esta variedad tiene relaci6n directa con la variedad Átil C2000, la cual se originó del cruzamiento SOOTY-9/RASCON-37, su liberaci6n para cultivo fue en el 2008 y se utiliza principalmente en el estado de Sonora. Su hábito de crecimiento es primaveral, ideal para cultivarse durante el ciclo otoño-invierno en condiciones de riego. El espigamiento ocurre de 74-89 d, la madurez fisiológica a 122 d promedio y la longitud de tallos de 78 cm en promedio, la clasifican como variedad de porte bajo. De tallos erectos y muy baja o nula frecuencia de plantas con hoja bandera recurvada. Antes de madurar, la vaina de la hoja bandera y el pedúnculo de la espiga presentan altos niveles de cera. Su rendimiento de grano al ser liberada para la extensi6n agrícola en Sonora fue 5.6 y 6.3 kg ha⁻¹ con dos y tres riegos de auxilio, respectivamente (Figueroa *et al.*, 2010).

Estudio fisiológico y agronómico en el ciclo 2015-2016

La variedad CIRNO C2008 se sembró en 2015-2016 para monitorear caracteres fisiológicos y agronómicos en un área experimental de 0.48 ha (88.88×54.0 m), en condiciones de campo abierto, en el Block 910 del Centro Experimental de Transferencia de Tecnología del Instituto Tecnológico de Sonora (CETT), ubicado a 27° 22' 0.4" N y 109° 54' 50.6" O (coordenadas UTM: 607393.24 m E; 3027508.34 m N).

and Adolfo Ruiz Cortinez dams (SAGARPA, 2015). The air temperature in these valleys has minimum and maximum levels of 0 and 45 °C in winter and summer respectively. The predominant soils are classified as compacted clayly and alluvial (Ortiz and del Carmen, 2015), based on the methodology proposed by Soil Taxonomy (Bhattacharyya *et al.*, 2015).

Genetic stability index

We used the methodology proposed by Annicchiarico (1992) to determine the genetic stability index of the grain yield components: plant height, spike length, grain mass and grain yield. The statistical data of grain yield components of the CIRNO C2008 variety were collected from 2007 to 2015 in the Valles del Yaqui and del Mayo where wheat is cultivated, especially the CIRNO C2008 variety (SAGARPA, 2015).

Main characteristics of the CIRNO C2008 variety

The CIRNO C2008 variety is classified as crystalline or hard wheat (*Triticum durum* L.) and originated from the selection in segregating populations of the SOOTY-9 / RASCON-37 / CAMAYO cross, carried out in the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT (International Center for the Improvement of Maize and Wheat). This variety is directly related to the Átil C2000 variety, which originated from the SOOTY-9/RASCON-37 crossing; its release for cultivation took place in 2008 and is used mainly in the state of Sonora.

This variety grows in the spring, ideal to be cultivated during the autumn-winter cycle under irrigation conditions. Heading occurs from 74-89 d, the physiological maturity at 122 d on average and the length of stems is of 78 cm on average and is classified as a short-size variety; with erect stems and very low or null frequency of plants with flag recurved leaf. Before maturing, the sheath of the flag leaf and the peduncle of the spike present high levels of wax. Its grain yield when released for agricultural extensive use in Sonora was 5600 and 6300 kg ha⁻¹ with two and three auxiliary irrigations, respectively (Figueroa *et al.*, 2010).

Physiological and agronomic study in the 2015-2016 cycle

The CIRNO C2008 variety was planted in 2015-2016 in order to monitor physiological and agronomic characters in an experimental area of 0.48 ha (88.88×54.0 m), under open field conditions, in Block 910 of the Instituto Tecnológico de Sonora's Centro Experimental de Transferencia de Tecnología (Technology Transfer Experimental Center) (CETT), located at 27° 22' 0.4" N and 109° 54' 50.6" W (UTM coordinates: 607393.24 m E; 3027508.34 m N).

Siembra, fertilización y mantenimiento del cultivo en el ciclo 2015-2016

La siembra se realizó con sembradora (ST 16) el 8 de diciembre de 2015 a tres hileras sobre el cantero con una densidad de siembra de 138 kg ha⁻¹. La fertilización fue a base 300 kg ha⁻¹ de urea + 100 kg ha⁻¹ de fosfato monoamónico (MAP) 11-52-00. En el primer riego de auxilio se aplicaron 150 kg ha⁻¹ de urea y la otra parte se fraccionó en los segundo y tercer riegos a razón de 75 kg ha⁻¹ cada uno. Los riegos fueron el riego de nacencia, en amacollamiento, espigamiento y llenado de los granos con una lámina media de agua de 16 cm, y una norma parcial bruta de Nb=160 m³ ha⁻¹ en cada riego hasta alcanzar la capacidad de campo. El intervalo medio de riego fue de 25 d. Para estas labores se consideró el instructivo técnico para la variedad (Figuroa *et al.*, 2010).

Control de plagas y enfermedades

El pulgón del follaje (*Schizaphis graminum*) se controló con el plaguicida *Muralla Max* (i.a. Imidacloprid + Betaciflutrin) (0.20 L ha⁻¹ en la periferia de la parcela hasta 2.0-3.0 m hacia adentro (superficie de borde), en la etapa de inicio de espigamiento, cuando se presentó la plaga. Las malezas de hoja ancha se controlaron con deshierbes manuales antes de aplicar los riegos de auxilio.

VARIABLES AGROCLIMÁTICAS DURANTE EL CICLO DE CULTIVO 2015-2016

Durante el ciclo biológico del cultivo del cultivo la temperatura media mensual se mantuvo entre 17 y 24 °C (promedio 18.6 °C). La precipitación mensual fue menor de 0.2 mm y la humedad relativa varió de 50 a 78 % (Figura 1).

VARIABLES EVALUADAS EN EL EXPERIMENTO DEL CETT EN EL CICLO 2015-16

Fenología de la variedad

Para estudiar la respuesta fenológica se utilizó la escala decimal de comparación de Zadoks (1974), considerando la fenofase cuando más del 50 % de la población mostraba las características afines. El tiempo de las fenofases se comparó con el obtenido por el descriptor varietal. Las variables estudiadas fueron: días al inicio del macollamiento, días a la aparición del primer nudo, días al espigamiento, días al llenado de los granos, y días a la madurez fisiológica.

Sowing, fertilization and maintenance of the crop in the 2015-2016 cycle

Sowing was carried out with a planter (ST 16) on December 8, 2015, in three rows on the quarry with a planting density of 138 kg ha⁻¹. Fertilization was based on 300 kg ha⁻¹ of urea + 100 kg ha⁻¹ of monoammonium phosphate (MAP) 11-52-00. In the first auxiliary irrigation, 150 kg ha⁻¹ of urea were applied and the other part was divided in the second and third irrigations at a rate of 75 kg ha⁻¹ each.

The irrigations were at pre-sowing, tillering, heading and grain filling with a mean water depth of 16 cm, and a gross partial standard of Nb=160 m³ ha⁻¹ in each irrigation until reaching field capacity. The average watering interval was 25 d. For these tasks we followed the technical instruction for this variety (Figuroa *et al.*, 2010).

Control of pests and diseases

The foliage aphid (*Schizaphis graminum*) was controlled with the pesticide *Muralla Max* (ia Imidacloprid + Betaciflutrin) (0.20 L ha⁻¹ in the periphery of the plot up to 2.0-3.0 m inwards (edge surface), at the beginning of heading, when the pest was present. The broadleaf weeds were controlled with manual weeding before applying auxiliary irrigations.

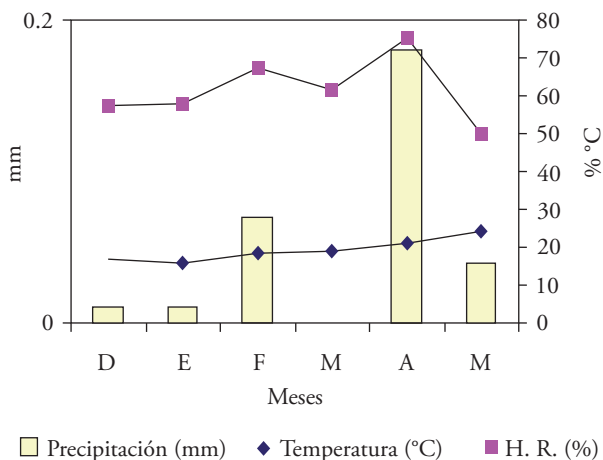


Figura 1. Variables climáticas (temperatura, precipitación y humedad relativa) durante el ciclo de cultivo diciembre 2015 - mayo, 2016 en el Centro Experimental de Transferencia Tecnológica del Instituto Tecnológico de Sonora (CETT).

Figure 1. Climatic variables (temperature, precipitation and relative humidity) during the cultivation cycle December 2015 - May 2016 at the Technological Transfer Experimental Center of the Technological Institute of Sonora (CETT).

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El índice de vegetación de diferencia normalizada se midió con un sensor portátil (*Green Seeker*, marca *Trimble*[™]) (Govaerts y Verhulst, 2010), desde 15 d después de la germinación, en cada fenofase hasta la madurez fisiológica del grano. En cada fenofase se tomaron 30 mediciones a una altura de 0.60 m del dosel del cultivo, conforme a la referencia del sensor. Esta variable se evaluó para comparar, en cada fenofase, el valor del índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI (por sus siglas en inglés); $-1 < \text{NDVI} < 1$, cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico rápido y dirigido de las condiciones nutrimentales del cultivo (en especial de nitrógeno) y la posible incidencia de estrés. Valores mayores del NDVI representan un mejor estado nutritivo (Inman *et al.*, 2005)

Fotosíntesis máxima

La actividad fotosintética se midió en hojas y espigas en las fenofases de espigamiento, floración y llenado de los granos a intervalos quincenales, y se evaluó con un sistema portátil (LI-6400XT, LI-COR, Inc.) que mide concentración de CO_2 y vapor de agua mediante un espectrómetro que opera en el espectro infrarrojo del equipo (IRGA, analizador de gases en el espectro infrarrojo, por sus siglas en inglés). Las mediciones se realizaron entre las 10:00 am y las 11:00 am en días soleados. Para esta medición, las tres hojas más expuestas a la radiación solar directa (repeticiones por planta) se insertaron, por su parte central, en la cámara de luz natural de intercambio gaseoso de 3.0×2.0 cm. Lo mismo se realizó con las espigas (usando la cámara específica para tal órgano; de luz natural y un área de 3.0×2.0 cm.), midiendo en la parte central. Todas las mediciones se realizaron con una intensidad luminosa de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y con una concentración de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ con un caudal constante de $500 \mu\text{mol s}^{-1}$. Las variables medidas fueron la fotosíntesis máxima (Amáx) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), transpiración (E) ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^2 \text{ s}^{-1}$) y conductancia estomática (g) ($\text{mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$). La eficiencia de uso de agua se determinó durante las fenofases de espigamiento, floración y llenado de los granos mediante el cociente de la actividad fotosintética y la transpiración (Zhang *et al.*, 2016).

Evaluación agronómica

En las parcelas se evaluó la altura de las plantas (AP) (cm), longitud de la espiga (LP) (cm), masa de la espiga (MP) (g), número de granos llenos (GLL/P) y vanos (GVP) por espigas (número), masa de los granos (MG) (g), masa de mil granos (M1000) (g) y rendimiento (REND) (kg ha^{-1}).

La altura de la planta se midió en 40 plantas con una cinta métrica (*TRUPER B122080*) de 3.0 m, y desde la base del tallo

Agroclimatic variables during the 2015-2016 crop cycle

During the biological cycle of the crop, the average monthly temperature remained between 17 and 24 °C (average 18.6 °C). Monthly precipitation was less than 0.2 mm and relative humidity varied from 50 to 78 % (Figure 1).

Variables evaluated in the CETT experiment in the 2015-16 cycle

Phenology of the variety

To study the phenological response we used the decimal scale of comparison by Zadoks (1974), considering the phenophase when more than 50 % of the population showed the related characteristics. The time periods of the phenophases were compared with that obtained by the varietal descriptor. The variables studied were the days at the start of tillering, days at the appearance of the first node, days to heading, days of grain filling, and days at physiological maturity.

Normalized difference vegetation index (NDVI)

The normalized difference vegetation index was measured with a portable sensor (*Green Seeker*, *Trimble*[™] brand) (Govaerts and Verhulst, 2010), from 15 d after germination in each phenophase until physiological maturity of the grain. In each phenophase we took 30 measurements at 0.60 m high from the crop canopy, according to the sensor reference.

This variable was evaluated to compare in each phenophase the value of the normalized difference vegetation index NDVI (its acronym in English); $-1 < \text{NDVI} < 1$, whose interpretation can contribute to the rapid and targeted diagnosis of the nutritional conditions of the crop (especially nitrogen) and the possible incidence of stress. Greater values of the NDVI represent a better nutritional status (Inman *et al.*, 2005).

Maximum photosynthesis

The photosynthetic activity was measured in leaves and spikes in the phenophases of heading, flowering and grain filling at biweekly intervals, and was evaluated with a portable system (LI-6400XT, LI-COR, Inc.) that measures CO_2 concentration and water vapor through a spectrometer that operates in the infrared spectrum of the electromagnetic radiation (IRGA, gas analyzer in the infrared spectrum, its acronym in English).

Measurements were taken between 1000 and 1100 on sunny days. For this measurement, the three leaves most exposed to direct solar radiation (repetitions per plant) were inserted by their central part into the natural gas exchange light of 3.0×2.0 cm. The

hasta el extremo apical de la espiga. La longitud de la espiga se midió en 30 espigas por parcela, tomadas al azar, desde la base hasta el grano terminal con una regla milimétrica (*PILOT*) de 50 cm. La masa de la espiga se determinó en 40 espigas por parcela usando una balanza técnica *SUIM LAB* con un error de 0.0012 g. El número de granos llenos y vanos por espiga se cuantificó en 25 espigas tomadas al azar, cada espiga se desmenuzó cuidadosamente y se contaron el número de granos llenos y vanos. La masa de los granos se midió en 200 granos tomados al azar, con una balanza técnica (*Sartorius* CP64-OCE) (error de 0.001 g). La masa de mil granos se midió en 10 grupos de mil granos, de la manera usada para la masa de los granos. El rendimiento por cada parcela se determinó con base en áreas de 1 m², se cuantificó la masa total de granos en cada m² de superficie, y el rendimiento se calculó mediante la división de la masa total y el área de la parcela.

Diseño experimental y análisis estadísticos

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, tomando 10 sitios representativos de cada Valle y de cada sitio se tomaron seis repeticiones.

Procesamiento de datos

Con las variables AP, LP, GLL y REND evaluadas en ocho años y los dos Valles se estimaron las varianzas genética y ambiental, la heredabilidad, se calculó un índice de adaptabilidad y estabilidad general (W_i) así como los índices para ambientes favorables (W_{i_p}) y para ambientes desfavorables (W_{i_d}), según la metodología propuesta por Annicchiarico (1992). La comparación de medias de los índices determinados se realizó mediante el programa *GENES* (Cruz, 2013).

Los datos de los componentes del rendimiento agrícola, para determinar el índice de estabilidad genética en el período entre los ciclos de cultivo 2007-08 al 2014-15, se compararon mediante un ANDEVA de clasificación doble basado en un modelo lineal de efecto aleatorio, y se separaron los componentes de varianza en el análisis de ambos factores (Valles: Valles del Yaqui y del Mayo) y ciclos de cultivo: (2007-08 - 2014-15). Los promedios se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Para el procesamiento estadístico de las variables evaluadas en el CETT-910 se usó la distribución teórica de probabilidades t de Student con la comparación del valor de cada variable eva-

same was done with the spikes (using the specific camera for such organ), with measurements taken in the central part.

All measurements were made with a luminous intensity of 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and with a CO_2 concentration of 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ with a constant flow rate of 500 $\mu\text{mol s}^{-1}$. The measured variables were the maximum photosynthesis ($A_{\text{máx}}$) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiration (E) ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) and stomatal conductance (g) ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). The efficiency of water use was determined during the phenophases of heading, flowering and filling of the grains by means of the quotient of photosynthetic activity and transpiration (Zhang *et al.*, 2016).

Agronomic evaluation

In the plots, we evaluated the plants height (AP) (cm), spike length (LP) (cm), mass of the spike (MP) (g), number of full (GLL / P) and vain grains (GVP) by ear (number), mass of the grains (MG) (g), mass of a thousand grains (M1000) (g) and yield (REND) (kg ha^{-1}). The height of the plant was measured in 40 plants with a measuring tape (*TRUPER* B122080) of 3.0 m, and from the base of the stem to the apical end of the spike.

The length of the spike was measured in 30 spikes per plot, taken at random, from the base to the terminal grain with a millimeter ruler (*PILOT*) of 50 cm. The mass of the spike was determined in 40 spikes per plot using a *SUIM LAB* technical scale with an error of 0.0012 g. The number of full and vain grains per spike was quantified in 25 spikes taken at random, each spike was carefully shredded and the number of full and vain grains counted.

The grain mass was measured in 200 grains taken at random, with a technical balance (*Sartorius* CP64-OCE) (error of 0.001 g). The mass of a thousand grains was measured in 10 groups of a thousand grains, in the manner used for the mass of the grains. The yield for each plot was determined based on areas of 1 m², the total mass of grains was quantified in each m² of surface, and the yield was calculated by dividing the total mass and the area of the plot.

Experimental design and statistical analysis

Experimental design

For the genetic stability index, the experimental design was completely randomized, taking 10 representative sites from each valley, and from each site six repetitions were taken.

luada con el valor del descriptor varietal, el criterio estadístico de una desviación típica poblacional de las variables no conocidas, y un tamaño de muestra $n < 30$. Para establecer las diferencias en la actividad fotosintética, transpiración y la de eficiencia de uso de agua en hojas y espigas (sin interacción entre órganos) las medias se compararon entre fenofases con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) después de realizar el ANDEVA de clasificación simple (sin interacción órgano-fenofase). En esta variable se determinó el coeficiente de determinación sin ajustar (R^2) para analizar el porcentaje de contribución de las fenofases en la variabilidad de respuesta obtenida.

Para las mediciones de NDVI se construyó una curva fenofásica, tomando como eje de ordenada el valor de NDVI y como abscisa las fenofases. En cada par ordenado se presentó la desviación típica de la media. Para estos análisis estadísticos se utilizó el programa STATISTICA, versión 8.1, (StatSoft, 2008) para WINDOWS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de estabilidad genética de la variedad CIRNO C2008

El trigo, al igual que otros cultivos, presenta fluctuaciones dentro de un mismo cultivar entre años y entre sitios diferentes debido al carácter poligénico de los componentes del rendimiento de grano, y estas variaciones dependen de la capacidad del genotipo para adaptarse a condiciones cambiantes como disponibilidad de agua y nutrientes, radiación solar, temperaturas, y otros factores (Shirdelmoghanloo *et al.*, 2016).

Los resultados tuvieron una interacción significativa entre los años (épocas de cultivo) y los Valles, con la excepción de la variable GLL. Las variables AP y REND mostraron valores bajos, y moderados LP y GLL, lo cual denota la poca dispersión y considerable homogeneidad de los datos obtenidos para estas características, como indicador indirecto de que la variedad CIRNO C2008 no tuvo variaciones significativas en su desempeño agronómico durante los años y los Valles donde se evaluó (Cuadro 1). Las cuatro características evaluadas tuvieron correlaciones bajas entre ellas y solo $r_{(REND - GILL)} = 0.35$ fue estadísticamente diferente ($p \leq 0.01$). Los valores más altos de heredabilidad se encontraron en las variables altura de la planta y longitud de la espiga, indicando la menor incidencia negativa de los factores ambientales. El número de granos lleno y el rendimiento de

Data processing

With the variables AP, LP, GLL and REND evaluated in eight years and the two valleys we estimated the genetic and environmental variances, the heritability, an index of adaptability and general stability (W_i), as well as the indices for favorable environments (W_iF) and for unfavorable environments (W_iD), according to the methodology proposed by Annicchiarico (1992). The comparison of means of the determined indices was carried out through the *GENES* program (Cruz, 2013).

The data of the components of agricultural yield to determine the genetic stability index in the period between the 2007-08 to 2014-15 crop cycles were compared by means of a double ANOVA classification based on a random-effect linear model; and the components of variance were separated in the analysis of both factors (valleys: Valles del Yaqui and del Mayo) and crop cycles: (2007-08 - 2014-15). The averages were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

For the statistical processing of the variables evaluated in CETT-910 we used the theoretical distribution of probabilities t of Student with the comparison of the value of each variable evaluated with the value of the varietal descriptor, an unknown population standard deviation and a sample size of $n < 30$.

To establish the differences in photosynthetic activity, transpiration and the efficiency of water use in leaves and spikes (without interaction between organs) we compared the means between phenophases with the Tukey test ($p \leq 0.05$) after performing the ANOVA of simple classification (without organ-phenophase interaction). In this variable, the unadjusted determination coefficient (R^2) was determined to analyze the contribution percentage of the phenophases in the response variability obtained.

For the NDVI measurements, a phenofasic curve was constructed, taking the NDVI value as the ordinate axis, and the phenophases as abscissa. In each ordered pair, the standard deviation of the mean was observed. For these statistical analyzes we used the STATISTICA program, version 8.1, (StatSoft, 2008) for WINDOWS.

RESULTS AND DISCUSSION

Genetic stability index of the CIRNO C2008 variety

Wheat, like other crops, fluctuates within a single crop between years and different sites due to the polygenic nature of grain yield components, and these variations depend on the ability of the genotype to adapt to changing conditions such as availability

Cuadro 1. Cuadrados medios del ANDEVA realizado en cuatro características [altura de la planta (AP), longitud de la espiga (LP), granos llenos (GLL) y rendimiento (REND)] en ocho estaciones y dos localidades para la variedad CIRNO C2008.**Table 1. Mean squares of ANOVA applied in four characteristics [plant height (AP), length spike (LP), filled grains (GLL) and yield (REND)] in eight seasons and two locations for the CIRNO C2008 variety.**

Fuentes de variación	Cuadrados medios				
	gl	AP	LP	GLL	REND
Valles	1	0.53 ns	3.72 ns	0.001 ns	1.99 ns
Épocas	7	0.71 ns	11.91 ns	81.60 ns	3.04 ns
Valles x Épocas	7	0.63	14.16	475.49 ns	0.85
Residuo	48	0.11	0.69	296.65	0.01
Media		89.55	3.70	55.64	6.10
C. V. (%)		0.37	22.50	30.95	1.11
h ²		89.12	73.15	57.00	49.76
Correlaciones de Pearson	LP	0.19	–	–	–
	GLL	–0.19	0.07	–	–
	REND	–0.05	–0.14	0.35	–

^{ns}No significativo ($p > 0.01$) para prueba de F. CV: coeficiente de variación; h²: heredabilidad. gl: grados de libertad. ♦ ^{ns}Not significant ($p > 0.01$) for the test of F. CV: coefficient of variation; h²: heritability. gl: degrees of freedom.

grano presentaron valores de heredabilidad cercanos al 50 %, lo cual denota mayor sensibilidad ante los cambios del ambiente.

La obtención de un coeficiente de variación genético bajo para AP, REND y LP en localidades diferentes y en ocho años denota la presencia de caracteres dominantes monogénicos (Gouache *et al.*, 2016) o la superdominancia de genes menores en los grupos de genes que afectan positivamente el rendimiento de grano (Mirabella *et al.*, 2016). El carácter poligénico del rendimiento de grano de los cereales en general y en particular del trigo es la principal limitante para los programas de mejora genética, pero se han estudiado numerosos genes que se sobreexpresan y muestran superdominancia aunque hayan sido genotipos expuestos al ambiente por un tiempo prolongado. Muchos de estos genes o grupos de genes se caracterizaron y usaron para la selección diferencial de genotipos entre germoplasmas diversos o entre parentales en cruzamientos genéticos (Vázquez *et al.*, 2016).

La estabilidad genética de los caracteres morfológicos (Liu *et al.*, 2016) y agronómicos es importante porque pueden ser útiles en cualquier programa de mejoramiento o para el uso de genotipos como modelo para simular o predecir posibles respuestas a condiciones de estrés (Vázquez *et al.*, 2016).

Los índices negativos (Cuadro 2) representan épocas desfavorables para las variables evaluadas. Las variables GLL y REND presentaron similar clasificaron

of water and nutrients, solar radiation, temperature, and other factors (Shirdelmoghanloo *et al.*, 2016).

The results showed a significant interaction between the years (cultivation seasons) and the valleys, with the exception of the GLL variable. The variables AP and REND showed low values, and moderate LP and GLL, which denotes the little dispersion and considerable homogeneity of the data obtained for these characteristics, as an indirect indicator that the variety CIRNO C2008 did not have significant variations in its agronomic performance during the years and the valleys where it was evaluated (Table 1).

The four characteristics evaluated had low correlations between them and only $r_{(REND-GLL)} = 0.35$ was statistically different ($p \leq 0.01$). The highest values of heritability were found in the variables plant height and spike length, indicating the lower negative incidence of environmental factors. The number of filled grains and grain yield showed heritability values close to 50 %, which indicates greater sensitivity to changes in the environment.

Obtaining a coefficient of low genetic variation for AP, REND and LP in different localities and eight years denotes the presence of monogenic dominant characters (Gouache *et al.*, 2016) or the superdominance of minor genes in the groups of genes that affect positively the grain yield (Mirabella *et al.*, 2016).

The polygenic character of the grain yield of cereals in general, and of wheat in particular, is the main

Cuadro 2. Índices de estabilidad genética (IEG), promedio de las características altura de la planta (\bar{X}): (AP), longitud de la espiga (LP), granos llenos (GLL), rendimiento de grano (REND) y clasificación en ambientes favorables (F) y desfavorables (D) de dos valles en ocho estaciones evaluadas ($p \leq 0.05$).**Table 2. Genetic stability indices (IEG), average of plant height (\bar{X}): (AP), length of spike (LP), filled grains (GLL), grain yield (REND) and classification in favorable (F) and unfavorable (D) environments of two valleys in eight evaluated seasons ($p \leq 0.05$).**

Épocas	AP (cm)			LP (cm)			GLL (unidad)			REND (kg ha ⁻¹)		
	\bar{X}	IEG	Clasif.	\bar{X}	IEG	Clasif.	\bar{X}	IEG	Clasif.	\bar{X}	IEG	Clasif.
1: 2007/08	89.68	0.13	F	3.19	-0.51	D	49.00	-6.64	D	5.80	-0.30	D
2: 2008/09	89.18	-0.38	D	1.94	-1.76	D	57.80	2.16	F	6.33	0.23	F
3: 2009/10	89.33	-0.23	D	3.66	-0.04	D	57.39	1.75	F	6.23	0.13	F
4: 2010/11	89.85	0.30	F	5.53	1.82	F	59.38	3.73	F	6.99	0.89	F
5: 2011/12	89.40	-0.15	D	2.96	-0.74	D	57.40	1.76	F	6.85	0.75	F
6: 2012/13	90.01	0.46	F	3.94	0.24	F	54.88	-0.77	D	5.90	-0.20	D
7: 2013/14	89.29	-0.36	D	3.04	-0.66	D	54.64	-1.00	D	5.36	-0.74	D
8: 2014/15	89.68	0.13	F	5.34	1.64	F	54.66	-0.98	D	5.34	-0.76	D

como favorables o desfavorables las mismas épocas. El resultado de clasificación fue similar para las otras dos variables, con la excepción de la primer época (2007/08). La época 2011/12 mantuvo el mejor ambiente para todos los componentes del rendimiento evaluados en ambos valles, clasificando como favorables, mientras que 2013/14 tuvo un efecto contrario.

De acuerdo con los índices descritos por Annichiarico (1992) (Cuadro 3), (W_i) en el Valle del Mayo fue mejor que el Valle del Yaqui para las variables evaluadas, con la excepción de la característica REND cuyos valores mayores ocurrieron en el Valle del Yaqui. De igual modo, en este valle los índices para ambientes favorables (W_{i_p}) fueron superiores para AP y GLL.

En el análisis realizado (Cuadros 2 y 3) la clasificación está más asociada con la variación de los Valles que con las diferentes estaciones. Los índices obtenidos, con la excepción de la longitud de las espigas (LP) que tuvo una mayor diferencia entre los valores de W_i , W_{iF} y W_{iD} , para las otras tres variables no hubo diferencias estadísticas, lo cual indica poca variación o alta estabilidad de los caracteres morfológicos y agronómicos del cultivar en ambos Valles. El índice W_i fue mayor en el Valle del Mayo, excepto la característica REND que tuvo los valores mayores en el Valle del Yaqui. Este tipo de análisis de estabilidad de genotipos se usa en la selección de cultivares de trigo (Benin *et al.*, 2014), para identificar genotipos de comportamiento previsible y que respondan a las

limitation for genetic improvement programs, but numerous genes have been studied that overexpress and show superdominance, although they have been genotypes exposed to the environment for a long time. Many of these genes or groups of genes were characterized and used for the differential selection of genotypes among diverse germplasms or between parents in genetic crosses (Vázquez *et al.*, 2016).

The genetic stability of morphological (Liu *et al.*, 2016) and agronomic characters is important because they can be useful in any breeding program or for the use of genotypes as a model to simulate or predict possible responses to stress conditions (Vázquez *et al.*, 2016).

The negative indices (Table 2) represent unfavorable times for the evaluated variables. The variables GLL and REND presented similar classification as favorable or unfavorable at the same times. The classification result was similar for the other two variables, with the exception of the first period (2007/08).

The 2011/12 season maintained the best environment for all the performance components evaluated in both valleys, classified as favorable, while 2013/14 had an opposite effect.

According to the indices described by Annichiarico (1992) (Table 3), (W_i) the Valle del Mayo showed better results than the Valle del Yaqui regarding the variables evaluated, with the exception of REND whose higher values occurred in the Valle del Yaqui.

Cuadro 3. Índices de estabilidad general (W_i), índice para ambientes favorables (W_{i_F}), índice para ambientes desfavorables (W_{i_D}) y promedio de cuatro características ara cada índice al evaluar los Valles del Yaqui y del Mayo en ocho estaciones de cultivo ($p \leq 0.05$).

Table 3. Indices of general stability (W_i), index for favorable environments (W_{i_F}), index for unfavorable environments (W_{i_D}) and average of four characteristics for each index when evaluating the Yaqui and Mayo valleys in eight cultivation seasons ($p \leq 0.05$).

Valles	Altura de la planta (cm)					
	Media general	W_i	Media en AF	W_{i_F}	Media en AD	W_{i_D}
Valle del Yaqui	89.48	99.40	89.92	99.90	89.04	99.21
Valle del Mayo	89.62	99.57	89.69	99.64	89.56	99.79
Valles	Longitud de las espigas (cm)					
	Media general	W_i	Media en AF	W_{i_F}	Media en AD	W_{i_D}
Valle del Yaqui	4.74	39.59	4.48	12.39	4.83	43.97
Valle del Mayo	6.81	69.34	6.38	62.43	6.54	67.54
Valles	Granos llenos (unidad)					
	Media general	W_i	Media en AF	W_{i_F}	Media en AD	W_{i_D}
Valle del Yaqui	55.53	89.95	58.86	100.55	52.19	83.94
Valle del Mayo	55.76	90.84	57.12	97.53	54.39	88.73
Valles	Rendimiento ($Mg\ ha^{-1}$)					
	Media general	W_i	Media en AF	W_{i_F}	Media en AD	W_{i_D}
Valle del Yaqui	6.26	92.94	6.73	99.76	5.79	88.83
Valle del Mayo	5.94	87.40	6.46	95.77	5.41	81.76

AF y AD son los promedios para los ambientes favorable y desfavorable, respectivamente. ♦ AF and AD are averages for favorable and unfavorable environments, respectively.

variaciones ambientales en condiciones específicas (W_{i_F} y W_{i_D}) o amplias (W_i).

Caracteres fisiológicos y agronómicos de la variedad CIRNO C2008 en el CETT 910 en el ciclo de cultivo 2015-2016

La fenología de la variedad CIRNO C2008 no tuvo cambios significativos por efecto del área de cultivo y solo hubo diferencia significativa con los valores del descriptor varietal (Figuroa *et al.*, 2010) en la fenofase de espigamiento. Esta variación no influyó en las subsiguientes fenofases (Cuadro 4).

Las variedades comerciales pueden acortar o alargar el tiempo de una fenofase debido a las condiciones edafoclimáticas en la región donde se establezcan (Kurepin *et al.*, 2015). Lo más frecuente en estudios de exposición y tolerancia a condiciones de estrés es una reducción del tiempo de fenofase (Guzmán *et al.*, 2016), lo cual acelera la senescencia y la abscisión

Similarmente, en este valle los índices para ambientes favorables (W_{i_F}) fueron más altos para AP y GLL.

En el presente análisis (Tablas 2 y 3) la clasificación es más asociada con la variación de los valles que con las diferentes temporadas. Los índices obtenidos, con la excepción de la longitud de la espiga (LP) que tuvo una mayor diferencia entre los valores de W_i , W_{i_F} y W_{i_D} , no registró diferencias estadísticas en las otras tres variables, lo que indica poca variación o alta estabilidad de los caracteres morfológicos y agronómicos del cultivar en ambos valles.

El índice W_i fue más alto en el Valle del Mayo, excepto por el carácter REND que tuvo los valores más altos en el Valle del Yaqui. Este tipo de análisis de estabilidad genotípica se utiliza en la selección de cultivares de trigo (Benin *et al.*, 2014), para identificar genotipos de comportamiento predecible que respondan a variaciones ambientales bajo condiciones específicas (W_{i_F} y W_{i_D}) o generales (W_i).

Cuadro 4. Principales etapas fenológicas de la variedad de trigo duro CIRNO C2008 en el CETT-910 del Valle del Yaqui. Descriptor varietal (Figuroa *et al.*, 2010).**Table 4. Main phenological stages of the CIRNO C2008 hard wheat variety in the CETT-910 of the Valle del Yaqui. Varietal descriptor (Figuroa *et al.*, 2010).**

Variedad	Principales fenofases (días)				
	Macollamiento	1 ^{er} nudo	Espigamiento	Llenado del grano	Maduración
CIRNO C2008	28 ns	36 ns	75**	84 ns	120 ns
Descriptor	28±1	36±1	80±1	85±1	120±2

** $p \leq 0.01$; ns: no significativo (prueba t-Student; $p > 0.05$). ♦ ** $p \leq 0.01$; ns: not significant (t-Student test; $p > 0.05$).

en especial durante sequía fisiológica asociada a estrés por sequía o salinidad (Mendes *et al.*, 2016). Para condiciones de estrés térmico disminuye el tiempo de las fenofases debido al aumento de la concentración de ácido giberélico (Argentel *et al.*, 2016). El tiempo de las fenofases del cultivo es un indicador eficiente del buen estado vegetativo y nutricional de las plantas, y tiene correlación positiva con el rendimiento, pero es necesario realizar estudios complementarios como el índice de biomasa vegetal en cada fenofase (Ballesteros *et al.*, 2016).

Índice de vegetación de diferencia normalizada

El NDVI evaluado en las fenofases del cultivo de CIRNO C2008 tuvo un aumento significativo desde la fenofase de macollamiento y el punto máximo se obtuvo en el espigamiento (Figura 2). Este resultado evidencia el buen estado fisiológico y nutritivo de la planta. La disminución de los valores del NDVI desde el espigamiento se debe probablemente por la traslocación de compuestos nitrogenados, lo cual favorece el llenado de los granos y es una señal importante de la senescencia de las plantas (Gaju *et al.*, 2016).

Las mediciones del estado nutritivo de las plantas en las diferentes fenofases del cultivo a través del *Greenseeker* ha tenido gran éxito en los sistemas intensivos y extensivos de trigo y permite cuantificar la eficiencia del uso del fertilizante nitrogenado, así como pronosticar el rendimiento de grano (Stefen *et al.*, 2016).

Fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración

La actividad fotosintética en las fenofases de espigamiento, floración y llenado de los granos fue alta

Physiological and agronomic characteristics of the variety CIRNO C2008 in the CETT 910 in the 2015-2016 crop cycle

The phenology of the variety CIRNO C2008 had no significant changes due to the effect of the cultivation area and there was only a significant difference with the values of the varietal descriptor (Figuroa *et al.*, 2010) in the phenophase of heading. This variation did not influence the subsequent phenophases (Table 4).

Commercial varieties can shorten or lengthen the time of a phenophase due to the edaphoclimatic conditions in the region where they are established (Kurepin *et al.*, 2015). The most frequent in studies of exposure and tolerance to stress conditions is a reduction of phenophase time (Guzmán *et al.*, 2016), which accelerates senescence and abscission, especially during physiological drought associated with drought or salinity stress (Mendes *et al.*, 2016).

For thermal stress conditions, the time of phenophases decreases due to the increase in the concentration of gibberellic acid (Argentel *et al.*, 2016). The time of the crop phenophases is an efficient indicator of the good vegetative and nutritional state of the plants, and has a positive correlation with the yield, but it is necessary to carry out complementary studies such as the vegetable biomass index in each phenophase (Ballesteros *et al.*, 2016).

Normalized difference vegetation index

The NDVI evaluated in the phenophases of the CIRNO C2008 crop had a significant increase since the tillering phenophase and the maximum point was obtained in the heading (Figure 3). This result shows the good physiological and nutritive state of the plant. The decrease in the NDVI values since

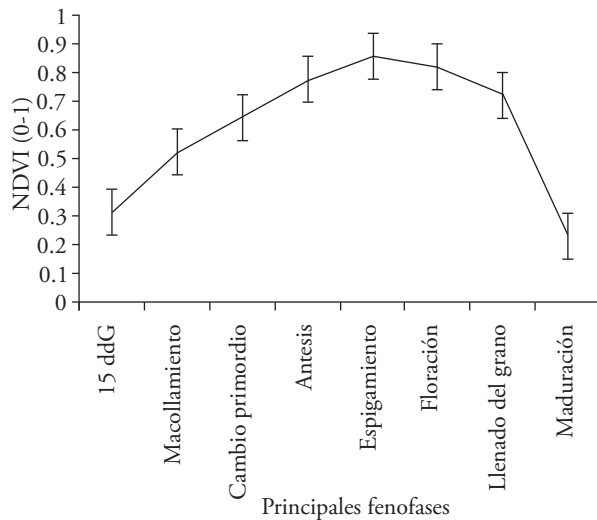


Figura 2. Índice de vegetación de diferencia normalizada, en las principales fenofases de la variedad de trigo CIRNO C2008 en el CETT durante el ciclo de cultivo 2015-16. Las barras representan las desviaciones típicas de las mediciones en cada fenofase.

Figure 2. Normalized difference vegetation index in the main phenophases of the CIRNO C2008 wheat variety in the CETT during the 2015-16 crop cycle. The bars represent the standard deviations of the measurements in each phenophase.

en la hoja (Cuadro 5), pero el mayor valor se obtuvo en el espigamiento, aunque los valores de conductancia estomática y transpiración no presentaron diferencias significativas en las fenofases evaluadas. La disminución de los valores de fotosíntesis después del espigamiento puede deberse a la función de la movilización acelerada de fotoasimilatos desde las fuentes (hojas) hasta los sumideros (granos) (Shirdelmoghanloo *et al.*, 2016).

La actividad fotosintética en las espigas fue inferior que en las hojas en las tres fenofases evaluadas (Cuadro 5). Tales valores disminuyeron al transcurrir dichas fenofases; sin embargo los valores fueron mayores a $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ en las fenofases de espigamiento y floración, lo cual representa un aporte de éste órgano al rendimiento en grano. La fotosíntesis en las espigas presentó un decremento altamente significativo durante la fenofase de llenado con respecto al obtenido en el espigamiento y floración. La transpiración y la conductancia estomática en las espigas fue menor que en hojas y no presentaron diferencias entre las fenofases. La fotosíntesis en las espigas contribuye a un buen llenado de los granos

heading is probably due to the translocation of nitrogen compounds, which favors the filling of the grains and is an important sign of the senescence of the plants (Gaju *et al.*, 2016).

Measurements of the nutrient status of plants in the different phenophases of the crop through the *Greenseeker* has been very successful in the intensive and extensive wheat systems and allows to quantify the efficiency of the use of nitrogen fertilizer, as well as to predict the grain yield (Stefen *et al.*, 2016).

Photosynthesis, stomatal conductance and transpiration

The photosynthetic activity in the phenophases of heading, flowering and grain filling was high in the leaf (Table 5), but the highest value was obtained at the heading, although the values of stomatal conductance and transpiration did not present significant differences in the phenophases. The decrease of the photosynthesis values after heading may be due to the function of the accelerated mobilization of photoassimilates from the sources (leaves) to the drains (grains) (Shirdelmoghanloo *et al.*, 2016).

The photosynthetic activity in the spikes was lower than in the leaves in the three phenophases evaluated (Table 5). These values decreased when these phenophases passed; however, the values were greater than $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ in the phenophases of heading and flowering, which represents a contribution of this organ to the grain yield. The photosynthesis in the spikes showed a highly significant decrease during the filling phenophase with respect to that obtained in heading and flowering.

Transpiration and stomatal conductance in the spikes were lower than in leaves and there were no differences between the phenophases. Photosynthesis in the spikes contributes to a good filling of the grains although there are divergences with respect to the percentages of contribution, due to the form of evaluation of the contributions and the variety (Borrás *et al.*, 2004).

Contributions (although in small amounts) of the photosynthetic activity of organs with a lesser degree of specialization, have a biochemical and agronomic importance because the photoassimilates of the leaves are destined to the fruit and to all the organs of the plant to maintain metabolism (Zhang *et al.*, 2016).

Cuadro 5. Actividad fotosintética, conductancia estomática y transpiración de la variedad CIRNO C2008 en las fenofases de espigamiento, floración y llenado de los granos.
Table 5. Photosynthetic activity, stomatal conductance and transpiration of the CIRNO C2008 variety in the phenophases of heading, flowering and grain filling.

Fenofases	Fotosíntesis (A), Transpiración (E) y Conductancia estomática (g)					
	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		E ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		g ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
	hoja	espiga	hoja	espiga	hoja	espiga
Espigamiento	25.3 ± 1.2 a	16.4 ± 2.3a	4.5 ± 0.03 ns	1.2 ± 0.01 ns	293.4 ± 14.6 ns	128.1 ± 8.3 ns
Floración	23.8 ± 1.4 b	13.5 ± 1.2 b	4.6 ± 0.07 ns	1.4 ± 0.02 ns	294.6 ± 11.4 ns	126.4 ± 5.2 ns
Llenado de granos	22.6 ± 2.3 c	2.7 ± 0.5 c	4.4 ± 0.01 ns	1.4 ± 0.01 ns	293.1 ± 13.2 ns	117.9 ± 8.6 ns
R ²	0.99	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99
CV	3.17	2.46	0.1	0.1	0.26	4.06

Medias con letras distintas en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). ns: no significativo. ♦ Means with different letters in a column are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$). ns: not significant.

aunque hay divergencias respecto a los porcentajes de contribución, debido a la forma de evaluación de las contribuciones y la variedad (Borrás *et al.*, 2004). Aportes (aunque en pequeñas cantidades) de la actividad fotosintética de órganos con menor grado de especialización tiene trascendencia bioquímica y agronómica porque los fotoasimilatos de las hojas se destinan al fruto y a todos los órganos de la planta para mantener el metabolismo (Zhang *et al.*, 2016). La obtención, en las fenofases de floración y llenado de los granos, de valores de fotosíntesis altos en las hojas (Cuadro 5) superiores a $20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Saeed *et al.*, 2017) y una transpiración estable denota la capacidad de la variedad para asegurar un buen rendimiento en grano. Una planta bien nutrida, con adecuada humedad en el suelo y con suficiente radiación solar, mantiene actividad fotosintética considerable por lo que se puede estimar un rendimiento de grano mayor (Carmo-Silva *et al.*, 2015). La actividad fotosintética es la principal variable fisiológica que contribuye al correcto llenado de los granos, a su masa final y por tanto al rendimiento. Cuando la fotosíntesis es baja en las fenofases reproductivas hay aborto de las espiguillas distales o mal llenado de los granos, lo cual propicia mermas significativas el rendimiento de grano y calidad (Prins *et al.*, 2016). No hay referencias suficientes sobre la medición de la actividad fotosintética y las fenofases en función del NDVI en la variedad de trigo estudiada, por lo cual los resultados obtenidos contribuirán a la caracterización fisiológica. Esos resultados podría usarse en programas de fitomejoramiento, ya que la actividad fotosintética define los progresos en mejora genética del trigo (Vázquez, *et al.*, 2016).

Obtaining during the phenophases of flowering and grain filling high photosynthesis values in the leaves (Table 5), higher than $20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Saeed *et al.*, 2017) and a stable transpiration, denotes the capacity of the variety to ensure a good grain yield. A well-nourished plant, with adequate moisture in the soil and sufficient solar radiation, maintains a considerable photosynthetic activity so that a greater grain yield can be expected (Carmo-Silva *et al.*, 2015).

The photosynthetic activity is the main physiological variable that contributes to the correct filling of the grains, their final mass and yield. When photosynthesis is low in reproductive phenophases there is miscarriage of the distal spikelets or poor filling of the grains, which leads to significant losses in grain yield and quality (Prins *et al.*, 2016).

There are not enough references about the measurement of the photosynthetic activity and phenophases depending on the NDVI in the variety of wheat studied, therefore the results obtained will contribute to the physiological characterization. These results could be used in breeding programs, since the photosynthetic activity defines the progress in wheat genetic improvement (Vázquez, *et al.*, 2016).

Water use efficiency (WUE) based on the photosynthesis-transpiration ratio

The WUE was similar in the leaf in the three phenophases evaluated (Figure 4); however, in the spikes, although it was higher in the phenophases of heading and flowering than in the leaf, there

Eficiencia de uso de agua (WUE) en función de la relación fotosíntesis- transpiración

La WUE fue similar en la hoja en las tres fenofases evaluadas (Figura 3); sin embargo en las espigas, aunque fue más alta en las fenofases de espigamiento y floración que en la hoja, hubo un decremento significativo de sus valores al transcurrir la fenología, lo cual se pudo explicar en 99 % por efecto de las fenofases. La disminución de la actividad fotosintética de las espigas fue el factor que más influyó en las variaciones de WUE (Cuadro 5), lo que se atribuye a la pérdida de los pigmentos clorofílicos conforme la espiga madura (Jamil *et al.*, 2016), a la ruptura de los cloroplastos por efecto de la concentración de etileno durante la maduración, y al aumento de la actividad de la enzima clorofilasa que acelera el catabolismo clorofílico (Sánchez *et al.*, 2016).

El valor más alto de WUE en las espigas se obtuvo durante el espigamiento, lo cual se debe a que las espigas tienen, en su estado verde, ventaja considerable para la captación de la luz respecto a la hoja bandera y las restantes hojas, por la poca o nula interferencia por sombreado o alta irradiancia lo que le permite realizar mayor fotosíntesis máxima (Blum, 2005). Además contribuyó la baja transpiración, ya que las espigas no son órganos especializados en la realización de este proceso. Esta respuesta fue el principal contribuyente a superioridad de WUE de las espigas respecto a la hoja en el presente estudio. La evaluación de la eficiencia del uso de agua determinada en función de la relación fotosíntesis/transpiración es un indicador importante para seleccionar genotipos con alta capacidad fotosintética en condiciones de baja disponibilidad de agua, y se le atribuye tolerancia al estrés por sequía (Messina *et al.*, 2015). Estos genotipos pudieran ser tolerantes al estrés térmico, aunque se asume que este tipo de estrés eleva considerablemente la transpiración para lograr la termorregulación del mesófilo de la hoja (Cowie *et al.*, 2016).

Componentes del rendimiento de grano

Las disminuciones de la masa de la espiga (5.35 %) y el número de granos llenos (3.3 %) fueron significativas respecto al descriptor varietal (Cuadro 6), aunque no existió correlación negativa entre estas variables y el rendimiento agrícola ($r_{(MP-REND)}=0.012$;

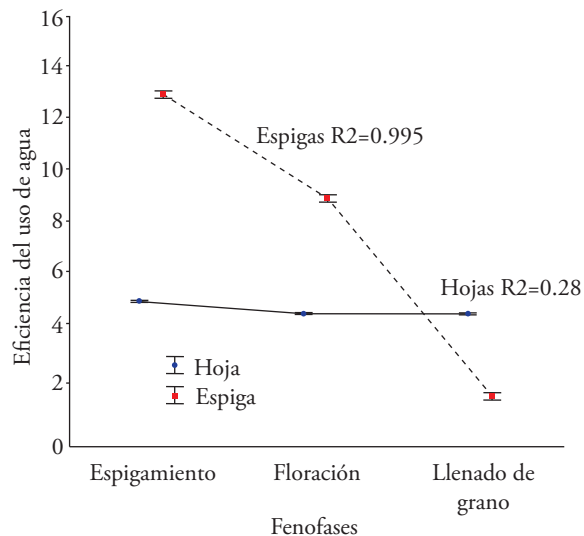


Figura 3. Eficiencia de uso de agua en hojas y espigas de la variedad CIRNO C2008 durante las fenofases de espigamiento, floración y llenado del grano en el CETT en el ciclo 2015-16. R²: coeficiente de determinación, sin ajustar, de la variación de WUE en las diferentes fenofases.

Figure 3. Water use efficiency in leaves and spikes of the CIRNO C2008 variety during the phenophases of heading, flowering and filling of the grains in the CETT in the 2015-16 cycle. R²: coefficient of determination, without adjustment, of the WUE variation in the different phenophases.

was a significant decrease in their values after the phenology, which could be 99 % due to the effect of the phenophases.

The decrease in the photosynthetic activity of the spikes was the factor that most influenced the WUE variations (Table 5), which is attributed to the loss of the chlorophyll pigments as the spike grows (Jamil *et al.*, 2016), the rupture of chloroplasts due to the concentration of ethylene during maturation, and the increase in the activity of the chlorophyllase enzyme that accelerates chlorophyll catabolism (Sánchez *et al.*, 2016).

The highest value of WUE in the spikes was obtained during the heading, which is due to the fact that the spikes have, in their green state, considerable advantage for capturing the light with respect to the flag leaf and the remaining leaves, as a result of the little or no interference from shading or high irradiance, allowing it to maximize photosynthesis (Blum, 2005).

Cuadro 6. Medida de los componentes del rendimiento agrícola de la variedad de trigo duro CIRNO C2008 evaluada en el CETT- 910 del Valle del Yaqui.
Table 6. Measurement of the components of the agricultural yield of the hard wheat CIRNO C2008 variety evaluated in the CETT- 910 of the Valle del Yaqui.

Fuente de variación	Componentes del rendimiento							
	AP	LP	MP	GLL P ⁻¹	M1000	Masa seca		REND
						paja	grano	
CIRNO C2008	88±2 ^{ns}	7.1±0.1 ^{ns}	53±1.1	58±1	60.6±0.1 ^{ns}	3.43	0.7	7.4±0.2
Descriptor	78-90	7.0±2.0	56±1.1	60±1	60.5±1.0	4.0	0.58	6.4±0.2

^{ns}No significativo (prueba t-Student). AP: altura de las plantas (cm); LP: longitud de la espiga, (cm); MP: masa de la espiga (g); GLL P⁻¹: número de granos llenos por espiga. MMG: masa de mil granos (g). Masa seca de paja y grano: (Mg ha⁻¹). REND: rendimiento (Mg ha⁻¹). ♦ ^{ns} Not significant (t-Student test). AP: height of the plants (cm); LP: length of the spike, (cm); MP: spike mass (g); GLL P⁻¹: number of filled grains per spike. MMG: mass of a thousand grains (g). Dry mass of straw and grain: (kg ha⁻¹). REND: yield (Mg ha⁻¹).

$r_{(GLLP-REND)}=0.018$). De modo contrario, la masa seca del grano y el rendimiento de grano fueron estadísticamente superiores.

La obtención de un rendimiento superior con relación al descriptor varietal muestra que la variedad aún mantiene su potencial genético-productivo, debido tal vez a la capacidad de la planta para movilizar los fotoasimilatos desde el follaje hacia la espiga y propiciar un adecuado llenado de los granos (Vázquez *et al.*, 2016). Esto puede corroborarse con la diferencia significativa encontrada entre los valores de masa seca de paja y grano.

La relación masa seca en función de grano/paja puede variar debido a que las condiciones edafoclimáticas y de cultivo afectan la translocación y distribución de fotoasimilatos desde las fuentes y reservorios hasta los sumideros (Hortelano *et al.*, 2013).

Las variables altura de la planta y longitud de la espiga no presentaron diferencias significativas respecto al descriptor varietal (Cuadro 6), lo cual muestra la estabilidad genética de la variedad durante su exposición a condiciones de campo. Esto es notable porque la mayoría de los componentes del rendimiento tienen un carácter poligénico pero, quizás, aún predominan genes menores que mantienen su carácter dominante ante considerable variabilidad de las condiciones edafoclimáticas (Asseng *et al.*, 2015). En el trigo, la altura de las plantas y en particular el NDVI son variables eficientes para la estimación del rendimiento y han sido reportadas indicadores precisos para programas de selección diferencial (Pantazi *et al.*, 2016).

In addition, low transpiration also contributed since the spikes are not bodies specialized in the realization of this process. This response was the main contributor to WUE superiority of spikes over the leaf in the present study.

The evaluation of WUE determined by the photosynthesis/transpiration ratio is an important indicator to select genotypes with high photosynthetic capacity in conditions of low water availability, and tolerance to drought stress is attributed to it (Messina *et al.*, 2015).

These genotypes might be tolerant to thermal stress, although it is assumed that this type of stress considerably increases transpiration to achieve thermoregulation of the leaf mesophyll (Cowie *et al.*, 2016).

Grain yield components

Decreases in the spike mass (5.35 %) and the number of full kernels (3.3 %) were significant with respect to the varietal descriptor (Table 6), although there was no negative correlation between these variables and agricultural yield ($r_{(MP-REND)}=0.012$; $r_{(GLLP-REND)}=0.018$). On the contrary, the dry mass of the grain and the grain yield were statistically higher.

Obtaining a superior yield in relation to the varietal descriptor shows that the variety still maintains its genetic-productive potential, perhaps due to the ability of the plant to mobilize the photoassimilates from the foliage to the spike and propitiate an adequate filling of the grains. (Vázquez *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

La variedad de trigo CIRNO C2008 mantiene su estabilidad genética tras ocho años de liberada para la producción agrícola en los Valles del Yaqui y del Mayo, con base en las variables evaluadas. Las variables altura de la planta y la longitud de la espiga fueron los componentes del rendimiento con mayor estabilidad genética. Y en Valle del Yaqui se obtuvo el mayor rendimiento en grano.

La fenología de la variedad no experimenta variaciones significativas respecto al descriptor varietal tras ocho años de ser liberada para la producción agrícola en Sonora y, además, mantiene su rendimiento de grano próximo a su potencial genético productivo, altos niveles de actividad fotosintética y eficiencia de uso de agua.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y al Programa de Fomento a la Investigación (PROFAPI-ITSON) por soporte financiero, y al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) por soporte adicional con equipamiento

LITERATURA CITADA

- Annicchiarico, P. 1992. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *J. Genet. Breed.* 46: 269-278.
- Argente, L., J. Garatuza, E. A. Yépez, y S. de los Santos. 2016. Evaluación de la tolerancia de variedades mexicanas de trigo a la salinidad, a través de indicadores fisiológicos, bioquímicos y agronómicos, cultivadas en Cuba en condiciones de campo. *Cultivos Trop.* 37: 91-101.
- Asseng, S., F. Ewert, P. Martre, R. P. Rötter, D. B. Lobell, D. Cammarano, D., and M. P. Reynolds. 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nat. Clim. Change.* 5: 143-147.
- Ballesteros, E., V. M. Vaca, E. J. Morales, O. Franco, B. Zamudio, y F. Gutiérrez Rodríguez, 2016. Fraccionamiento de nitrógeno: eficiencia de recuperación y concentración proteica en triticale (XTriticosecale Wittmack). *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 7: 585-598.
- Benin, G., L. Storck, V. S. Marchioro, M. H. Todeschini, A. S. Milioli, and L. G. Woyann. 2014. Effects of years, locations and sowing date on the spring wheat yield performance. *Rev. Fac. Agron. La Plata.* 113: 165-173.
- Bhattacharyya, T., P. Chandran, S. K. Ray, and D. K. Pal. 2015. Soil classification following the US taxonomy: An Indian commentary. *Soil Horiz.* 56: 325.
- Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Crop Pasture Sci.* 56: 1159-1168.

This can be corroborated by the significant difference found between the straw and grain dry mass values. The dry mass relation in terms of grain/straw can vary because the edaphoclimatic conditions and of cultivation affect the translocation and distribution of photoassimilates from the sources and reservoirs up to the sinks (Hortelano *et al.*, 2013).

The variables plant height and spike length did not present significant differences with respect to the varietal descriptor (Table 6), which shows the genetic stability of the variety during its exposure to field conditions. This is notable because most of the yield components have a polygenic nature but perhaps there are minor genes that still maintain their dominant character before a considerable variability of edaphoclimatic conditions (Asseng *et al.*, 2015). In wheat, plant height and in particular the NDVI are efficient variables for the estimation of yield, and are reported of being precise indicators for differential selection programs (Pantazi *et al.*, 2016).

CONCLUSIONS

The CIRNO C2008 wheat variety maintains its genetic stability after eight years of release for agricultural production in the Valles del Yaqui and del Mayo, based on the variables evaluated. The variables plant height and spike length were the components of the yield with greater genetic stability. The highest grain yield was obtained in Valle del Yaqui

The phenology of the variety does not experience significant variations with respect to the varietal descriptor after eight years of being released for agricultural production in Sonora and, in addition, maintains its grain yield close to its productive genetic potential, high levels of photosynthetic activity and water use efficiency.

—End of the English version—

—*—

- Borrás, L., G. A. Slafer, and M. E. Otegui. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86: 131-146.
- Carmo-Silva, E., J. C. Scales, P. J. Madgwick, and M. A. J. Parry. 2015. Optimizing Rubisco and its regulation for greater resource use efficiency. *Plant, Cell Environ.* 38: 1817-1832.
- Cowie, B. W., M. J. Byrne, E. T. Witkowski, and N. Venter. 2016. Exacerbation of photosynthetic damage through

- increased heat–light stress resulting from *Gargaphia decoris* sap-feeding. *Biological Cont.* 94: 82-89.
- Cruz, C. D. 2013. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scient. Agron.* 35: 271-276.
- Figuerola, P., J. L. Félix, G. Fuentes, V. Vallenzuela, G. Chávez, y J. A. Mendoza, 2010. CIRNO C-2008, nueva variedad de trigo cristalino con alto rendimiento potencial para el estado de Sonora. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1: 739-744.
- Gaju, O., J. DeSilva, P. Carvalho, M. J. Hawkesford, S. Griffiths, A. Greenland, and M. J. Foulkes, 2016. Leaf photosynthesis and associations with grain yield, biomass and nitrogen-use efficiency in landraces, synthetic-derived lines and cultivars in wheat. *Field Crops Res.* 193: 1-15.
- Gouache, D., M. Bogard, M. Pegard, S. Thepot, C. Garcia, D. Hourcade and X. Le Bris. 2016. Bridging the gap between ideotype and genotype: Challenges and prospects for modelling as exemplified by the case of adapting wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crop Res.* 202:118-121.
- Govaerts, B., and N. Verhulst. 2010. The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management. Part A: -Concepts and Case Studies: Mexico, D.F. CIMMYT. p:13.
- Guzmán, C., J. E. Autrique, S. Mondal, R. P. Singh, V. Govindan, A. Morales-Dorantes, and R. J. Peña. 2016. Response to drought and heat stress on wheat quality, with special emphasis on bread-making quality, in durum wheat. *Field Crops Res.* 186: 157-165.
- Hortelano, S. R. R., H. E. Villaseñor, C. E. Martínez, G. M. Rodríguez, R. E. Espitia, y L. A. Mariscal. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4:713-725.
- Inman, D., R. Khosla, T. Mayfield. 2005. On-the-go active remote sensing for efficient crop nitrogen management. *Sensor Review* 25: 209-214.
- Jamil, M., A. Ali, K. F. Akbar, A. Ghafoor, A. Aziz, S. A. Napar, and A. Mujeeb-Kazi. 2016. Relationship among water use efficiency, canopy temperature, chlorophyll content and spot blotch (*Cochliobolus sativus*) resistance in diverse wheat (*Triticum aestivum* L.) Germplasm. *Pak. J. Bot.* 48: 993-998.
- Kurepin, L. V., J. M. Park, G. Lazarovits, and N. P. Hüner. 2015. Involvement of plant stress hormones in Burkholderia phytofirmans-induced shoot and root growth promotion. *Plant Growth Reg.* 77: 179-187.
- Liu, Y., H. Liang, X. Lv, D. Liu, X. Wen, and Y. Liao. 2016. Effect of polyamines on the grain filling of wheat under drought stress. *Plant Phys. Biochem.* 100: 113-129.
- Lopes, M. S., I. El-Basyoni, P. S. Baenziger, S. Singh, C. Royo, K. Ozbek, and T. Ban. 2015. Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *J. Exp. Bot.* 47: 777-780.
- Mendes, M. C., A. Gabriel, H. I. Vidal, O. P. Junior, M. V. Faria, and A. C. Junior. 2016. Biorregulador aplicado em diferentes estádios fenológicos na cultura do trigo. *Rev. Agro@mbiente On-line*, 9: 476-480.
- Messina, C. D., T. R. Sinclair, G. L. Hammer, D. Curan, J. Thompson, Z. Oler, and M. Cooper. 2015. Limited-transpiration trait may increase maize drought tolerance in the US Corn Belt. *Agronomy J.* 107: 1978-1986.
- Mirabella, N. E., P. E. Abbate, I. A. Ramirez, and A. C. Pontaroli. 2016. Genetic variation for wheat spike fertility in cultivars and early breeding materials. *J. Agric. Sci.* 154: 13-22.
- Monaco, M. K., J. Stein, S. Naithani, S. Wei, P. Dharmawardhana, S. Kumari, and S. Pasternak. 2014. Gramene 2013: comparative plant genomics resources. *Nucleic Acids Res.* 42: 1193-1199.
- Ortiz, C. A., y M. del Carmen. 2015. La etnoedafología en México una visión retrospectiva. *Etnobiología.* 1: 44-62.
- Pantazi, X. E., D. Moshou, T. Alexandridis, R. L. Whetton, and A. M. Mouazen. 2016. Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. *Computers Elect. Agric.* 121: 57-65.
- Prins, A., D. J. Orr, P. J. Andralojc, M. P. Reynolds, E. Carmo-Silva, and M. A. Parry. 2016. Rubisco catalytic properties of wild and domesticated relatives provide scope for improving wheat photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 67: 1827-1838.
- Saeed, I., X. Chen, D. G. Bachir, L. Chen, and Y. G. Hu. 2017. Association mapping for photosynthesis and yield traits under two moisture conditions and their drought indices in winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using SSR markers. *Austr. J. Crop Sci.* 11: 248.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos naturales, Pesca y Alimentación) 2015. Servicio de información agroalimentario y pesquera. www.siap.gob.mx/index. (Consulta: Diciembre 2015).
- Sanchez, R., G. Molero, M. P. Reynolds, and J. L. Araus. 2016. Photosynthetic contribution of the ear to grain filling in wheat: a comparison of different methodologies for evaluation. *J. Exp. Bot.* 67: 2787-2798.
- Shirdelmoghanloo, H., J. D. Taylor, I. Lohraseb, H. Rabie, C. Brien, A. Timmins, and N. C. Collins. (2016). A QTL on the short arm of wheat (*Triticum aestivum* L.) chromosome 3B affects the stability of grain weight in plants exposed to a brief heat shock early in grain filling. *BMC Plant Biol.* 16: 100.
- Silva, R. R., C. R. Riede, I. C. de Batista, C. Zucareli, C., and G. Benin. 2016. Investigating suitable test locations and mega-environments for evaluating spring wheat in Brazil. *Australian J. Crop Sci.* 10: 137-143.
- Solís, S. D., R. M. Rivera, and O. O. Chisholm. 2016. Dinámica de los caracteres altura y ahijamiento en cultivares tradicionales de arroz. *Avances* 18: 42-48.
- StatSoft. 2008. STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com
- Stefen, D. L. V., C. A. Souza, C. M. M. Coelho, L. C. Gutkoski, e L. Sangoi. 2016. A adubação nitrogenada durante o espigamento melhora a qualidade industrial do trigo (*Triticum aestivum* cv. Mirante) cultivado com regulador de crescimento etil-trinexapac. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 114: 161-169.
- Vázquez, J. R., R. H. Santa Rosa, E. V. Mir, E. L. Herrera, E. M. Cruz, y E. E. Rangel. 2016. Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 655-667.
- Zadoks, J. C., T. T. Chang, and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
- Zhang, X., Q. Zhou, X. Wang, J. Cai, T. Dai, W. Cao, and D. Jiang. 2016. Physiological and transcriptional analyses of induced post-anthesis thermo-tolerance by heat-shock pretreatment on germinating seeds of winter wheat. *Environ. Exp. Bot.* 131: 181-18.