

## Interacción genotipo-ambiente en garbanzo blanco de semilla extra grande en el noroeste de México\*

### Genotype-environment interaction in extra-large white chickpea seed in northwestern Mexico

Gustavo Adolfo Fierros Leyva<sup>1§</sup>, Pedro Francisco Ortega Murrieta<sup>1</sup>, Jorge Alberto Acosta Gallegos<sup>2</sup>, Víctor Valenzuela Herrera<sup>3</sup>, Isidoro Padilla Valenzuela<sup>4</sup>, Sixto Velarde Félix<sup>3</sup> y Erasmo Gutierrez Pérez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Costa de Hermosillo-INIFAP. Pascual Encinas No. 21, Col. La Manga, C.P. 83220, Hermosillo, Sonora. Tel. 0155 38718700. (ortegampedro@gmail.com). <sup>2</sup>Campo Experimental Bajío, Km 6.5. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, C. P. 38110, Celaya, Guanajuato. Tel: 0155 38718700. (acosta.jorge@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>Campo Experimental Valle de Culiacán-INIFAP. Carretera a El Dorado, km 16.5, C. P. 80430, Culiacán, Sinaloa. Tel: 0155 38718700. (valenzuela.victor@inifap.gob.mx; velarde.sixto@inifap.gob.mx). <sup>4</sup>Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP. Calle Norman E. Borlaug, km 12, Valle del Yaqui, C. P. 85000, Cd Obregón, Sonora. Tel: 0155 38 71 87 00. (padilla.isidoro@inifap.gob.mx). <sup>5</sup>Campo Experimental Todos Santos, Agricultura entre México y Durango, Emiliano Zapata, C. P 23050, La Paz, B. C. S. Tel: 0155 38718700. (gutierrez.erasmo@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: fierros.gustavo@inifap.gob.mx.

## Resumen

En México el garbanzo blanco (*Cicer arietinum* L.) de grano grande para exportación se siembra en los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California Sur. En el 90% de la superficie de siembra se utiliza la variedad Blanco Sinaloa 92, la cual se ha sembrado por más de 20 años. El objetivo fue analizar la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) de 16 líneas avanzadas y dos variedades comerciales, e identificar localidades de baja IGA, y las líneas de mayor rendimiento y peso de grano (número de granos en 30 g). Los 18 genotipos se establecieron durante el ciclo otoño-invierno 2011-2012 bajo condiciones de riego o temporal (humedad residual) en un diseño de bloques completos al azar en siete ambientes en Sonora, Sinaloa y Baja California Sur. El análisis de la IGA se realizó con el modelo AMMI. En rendimiento y peso de grano se detectaron diferencias significativas entre ambientes, genotipos e interacción genotipo-ambiente ( $p < 0.05$ ). Los ambientes de mayor rendimiento fueron Santo Domingo, BCS con 3.63 t ha<sup>-1</sup> bajo un sistema de riego por goteo y en Navojoa, Sonora, bajo riego tradicional con 2.91 t ha<sup>-1</sup>, con diferencia significativa entre ellos y con el resto de ambientes. Los genotipos de mayor rendimiento promedio fueron Hoga 2001-2-2 con 2.72 t ha<sup>-1</sup> y Hoga 2002-6-3 con

## Abstract

In Mexico white chickpea (*Cicer arietinum* L.) grain export large planted in the states of Sonora, Sinaloa and Baja California Sur. In 90% of the sowing area Blanco Sinaloa 92 variety, which has been sown for over 20 years it is used. The aim was to analyze the genotype-environment interaction (IGA) of 16 advanced lines and two commercial varieties, and identify locations of low IGA, and lines of higher yield and grain weight (number of grains in 30 g). The 18 genotypes were established during the autumn-winter 2011-2012 under irrigation or temporary (residual moisture) in a randomized complete design in seven environments in Sonora, Sinaloa and Baja California Sur blocks. The IGA analysis was performed using the AMMI model. Yield and grain weight significant differences between environments, genotypes and genotype-environment interaction ( $p < 0.05$ ) were detected. Environments greater performance were Santo Domingo, BCS with 3.63 t ha<sup>-1</sup> under a system of drip irrigation and in Navojoa, Sonora, under traditional irrigation with 2.91 t ha<sup>-1</sup>, with significant difference between them and the rest of environments. The highest average yield genotypes were Hoga 02 febrero, 2001 with 2.72 t ha<sup>-1</sup> and Hoga 06 marzo, 2002 with 2.60 t ha<sup>-1</sup>, only the

\* Recibido: noviembre de 2015  
Aceptado: marzo de 2016

2.60 t ha<sup>-1</sup>, sólo el primero fue significativamente superior ( $p < 0.05$ ) a los testigos Blanco Sinaloa 92 y Blanoro. En peso del grano, las localidades Culiacán, Sinaloa., Hermosillo, Sonora, y La Angostura, Sinaloa, fueron las de mayor tamaño con 41, 47 and 47 granos en 30 g, respectivamente. El ambiente Hermosillo fue el más alejado del origen, con mayor capacidad de discriminación, en tanto que Culiacán, Navojoa y Santo Domingo fueron los de menor interacción y representan ambientes donde se pueden seleccionar variedades estables.

**Palabras clave:** *Cicer arietinum* L., calibre del grano, humedad residual, rendimiento, riego.

## Introducción

El garbanzo de grano blanco grande (tipo "Kabuli") que se produce en la región Noroeste de México se exporta a Europa, Norte de África y Medio Oriente (Yadav *et al.*, 2007). En el periodo 2012-2013 México ocupó el sexto lugar a nivel mundial en producción de garbanzo, con 108 799 t, siendo la India el principal productor con un volumen de 1 000 100 t seguido por Turquía con 675 000 toneladas. En cuanto a exportación de garbanzo en el mismo periodo, México ocupó el tercer lugar a nivel mundial con 141 382 t, superado solo por Turquía y Australia (FAOSTAT, 2013). La producción de garbanzo blanco en México para exportación está concentrada en las áreas de riego del Noroeste (Baja California Sur, Sonora y Sinaloa). En el ciclo otoño-invierno 2013 se sembraron 123 895 hectáreas con una producción de 209 941 toneladas, con un rendimiento medio de 1.82 t ha<sup>-1</sup>, con un valor de la producción de \$ 2 622 millones de pesos y un precio medio rural de \$12 492.00 t<sup>-1</sup> (SIAP 2013).

La elección de la variedad a sembrar en una determinada región agroecológica, es un aspecto central en la tecnología de producción del cultivo de garbanzo, esta determina la eficiencia con que se aprovechan los recursos disponibles. La adecuada definición del ambiente y la caracterización de la respuesta de los genotipos en forma integrada, contribuirá a una mejor comprensión de la productividad media (adaptación) de los distintos genotipos y variaciones (estabilidad) de los mismos, y permitirá entender y aprovechar la inevitable interacción genotipo x ambiente (Berger *et al.*, 2007).

Una variedad o genotipo se considera estable o bien adaptada cuando al crecer en varios ambientes presenta producción superior al promedio, ya que el ambiente influye de manera

first was significantly higher ( $p < 0.05$ ) witnesses Blanco Sinaloa 92 and Blanoro. By weight of the grain, Culiacan, Sinaloa, Hermosillo, Sonora, and La Angostura, Sinaloa, localities were larger with 41, 47 and 47 grains in 30 g, respectively. The Hermosillo environment was the farthest from the origin, with greater capacity for discrimination, while Culiacan, Navojoa and Santo Domingo were the least interaction and represent environments where you can select stable varieties.

**Keywords:** *Cicer arietinum* L., grain size, irrigation, residual moisture, yield.

## Introduction

Chickpea big white grain (type "Kabuli") that occurs in the northwestern region of Mexico is exported to Europe, North Africa and the Middle East (Yadav *et al.*, 2007). In the period 2012-2013 Mexico ranked sixth worldwide in chickpea production, with 108 799 t, with India the largest producer with a volume of 1 000 100 t followed by Turkey with 675 000 t. As for export of chickpea in the same period, Mexico ranked third worldwide with 141 382 t, surpassed only by Turkey and Australia (FAOSTAT, 2013). White chickpea production in Mexico for export is concentrated in the areas of irrigation Northwest (Baja California Sur, Sonora and Sinaloa). In the autumn-winter 2013 cycle 123 895 hectares were planted with a production of 209 941 tons with an average yield of 1.82 t ha<sup>-1</sup>, with a production value of \$ 2 622 million pesos and an average rural price \$ 12 492.00 t<sup>-1</sup> (SIAP 2013).

The choice of variety to plant in a particular agro-ecological region, is a central aspect in the production technology of chickpea, this determines the efficiency with which the use of available resources. The proper definition of the environment and the characterization of the response of genotypes in an integrated way, contribute to a better understanding of the average productivity (adaptation) of different genotypes and variations (stability) of them, and you understand and exploit the inevitable genotype x environment interaction (Berger *et al.*, 2007).

A variety or genotype is considered stable or adapted when growing up in various environments presents above-average production, since the environment has an

importante en la expresión del rendimiento. Considerando estos aspectos, la producción de un cultivar la determina el efecto del genotipo (G), del ambiente (E) y por la interacción de ambos (G x E o IGA) (Yan y Kang, 2002). En años recientes para comprender mejor la interacción G x E se utilizan métodos estadísticos más complejos que el análisis de varianza, como es el modelo AMMI, que combina ANVA con componentes principales (CP). Este método extrae el efecto del genotipo y del ambiente, y usa componentes principales para explicar la interacción G x E (Romagosa y Fox, 1993). Zobel *et al.* (1998), señalaron también que AMMI es una combinación de ANOVA para los efectos principales de los genotipos y del medio ambiente junto con análisis de componentes principales (ACP) de la interacción genotipo x ambiente. De los más conocidos es el AMMI biplots, el cual proporciona una representación gráfica de la parte genética (G) y de la estabilidad (CP) de los genotipos simultáneamente (Yan y Tinker, 2006). Basándonos en esto, los cultivares ideales deberían tener un alto valor genético (alta producción) y un pequeño valor en CP (alta estabilidad).

El modelo AMMI posee capacidad para interpretar un alto número de genotipos en varios ambientes, considera a los genotipos y ambientes como efectos aditivos y lineales permitiendo su estudio por medio de un análisis de varianza (ANVA), mientras que la IGA, la considera de efectos multiplicativos, que se analizan por medio de un análisis de componentes principales (Crossa *et al.*, 1990). Del análisis se obtienen representaciones gráficas utilizando 'biplots' (Gabriel, 1971) que permiten: (1) la observación, en el mismo gráfico, de los genotipos (puntos) y los entornos (vectores); y (2) la exploración de patrones atribuibles a los efectos de la interacción G x E. En el biplot, los ángulos entre los vectores que representan genotipos y ambientes muestran la interacción, y las distancias desde el origen indican el grado de interacción que los genotipos muestran a través de los ambientes. El objetivo fue analizar la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) de 16 líneas avanzadas y dos variedades comerciales de garbanzo, e identificar localidades de baja IGA, y líneas de alto rendimiento y peso de grano (número de granos en 30 g).

## Materiales y métodos

En el ciclo otoño-invierno de 2011-2012, se establecieron siete ensayos de rendimiento de garbanzo blanco en los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California Sur. En Sonora se establecieron dos, uno en la Costa de Hermosillo (Y1) y otro en el Valle del Mayo (Y2), uno en el Valle de Santo

important influence on the expression of performance. Considering these aspects, the production of a cultivating determines the effect of genotype (G), the environment (E) and their interaction (G x E or IGA) (Yan and Kang, 2002). In recent years to better understand the interaction G x E years more complex statistical methods are used that analysis of variance, as is the AMMI model, which combines ANVA with principal components (CP). This method removes the effect of genotype and environment, and major components used to explain the interaction G x E (Romagosa and Fox, 1993). Zobel *et al.* (1998) also noted that AMMI is a combination of ANOVA for the main effects of genotypes and the environment together with principal component analysis (ACP) of the genotype x environment interaction. The best known is the AMMI biplot, which provides a graphical representation of the genetic part (G) and stability (CP) genotypes simultaneously (Yan and Tinker, 2006). Based on this, the ideals cultivars should have a high genetic value (high output) and a small value in CP (high stability).

The AMMI model has ability to interpret a high number of genotypes in several environments, considers genotypes and environments as additives and linear effects allowing its study by an analysis of variance (ANOVA), while the IGA, considers effects multiplicative, which are analyzed by a principal component analysis (Crossa *et al.*, 1990). Analysis using graphical representations 'biplots' (Gabriel, 1971) allowing obtained: (1) observation, in the same chart genotypes (points) and environments (vectors); and (2) exploring the effects attributable to the interaction of G x E. In biplots patterns, the angles between the vectors representing genotypes and environments show the interaction, and the distances from the origin indicate the degree of interaction that They show genotypes across environments. The aim was to analyze the genotype-environment interaction (IGA) of 16 advanced lines and two commercial varieties of chickpea, and identify locations IGA low, and high-performance lines and grain weight (number of grains in 30 g).

## Materials and methods

In the autumn-winter 2011-2012 cycle, seven trials white chickpea performance in the states of Sonora, Sinaloa and Baja California Sur were established. In Sonora two established, one in the Coast of Hermosillo (Y1) and another in the Valle del Mayo (Y2), one in the Valley of

Domingo en B. C. S. (Y4), en Sinaloa cuatro, uno en cada localidad: Valle del Fuerte (Y3), Culiacán (Y5), Mocorito (Y6), La Angostura (Y7) (Cuadro 1). En Sinaloa los ensayos se establecieron en noviembre y en el resto de las localidades en Diciembre. Los genotipos evaluados fueron desarrollados en los programas de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP - en la Costa de Hermosillo (Hoga's) y en el del Valle de Culiacán (Cuga's), además se utilizaron a las variedades Blanco Sinaloa 92 y Blanoro como testigos comerciales (Cuadro 2).

Santo Domingo in BCS (Y4) in Sinaloa four, one in each locality: Valle del Fuerte (Y3), Culiacan (Y5), Mocorito (Y6), La Angostura (Y7) (Table 1). In Sinaloa trials they were established in November and in other locations in December. The evaluated genotypes were developed in the breeding programs of the National Institute of Livestock Agricultural and Forestry Research (INIFAP on the Costa de Hermosillo (Hoga's) and the Valley of Culiacan (Cuga's), in addition to the varieties used White Sinaloa 92 and Blanoro as commercial controls (Table 2).

### Cuadro 1. Ubicación geográfica y características climáticas de las localidades de prueba.

Table 1. Geographical location and climatic characteristics of the test locations.

| Ambiente y código () | Localización geográfica |              | Sistema de riego | Precipitación anual (mm) | Temp. media anual (°C) | Fecha de siembra |
|----------------------|-------------------------|--------------|------------------|--------------------------|------------------------|------------------|
|                      | Lat. norte              | Long. oeste  |                  |                          |                        |                  |
| Hermosillo (Y1)      | 28° 45' 06"             | 111° 27' 37" | Goteo            | 150.0                    | 21.5                   | 13/12/11         |
| Navojua (Y2)         | 27° 00' 40"             | 109° 30' 04" | Gravedad         | 380.0                    | 22.0                   | 21/12/11         |
| Mochis (Y3)          | 25° 46' 06"             | 108° 48' 28" | Gravedad         | 301.2                    | 24.9                   | 20/12/11         |
| BCS (Y4)             | 25° 00' 22"             | 110° 39' 48" | Goteo            | 100.0                    | 22.0                   | 15/12/11         |
| Culiacán (Y5)        | 24° 37' 23"             | 107° 26' 33" | Gravedad         | 671.7                    | 24.9                   | 29/11/11         |
| Mocorito (Y6)        | 25° 06' 31"             | 107° 55' 10" | Temporal         | 689.2                    | 24.2                   | 11/11/11         |
| Angostura (Y7)       | 25° 24' 24"             | 108° 14' 45" | Temporal         | 559.9                    | 24.7                   | 13/12/11         |

### Cuadro 2. Principales características agronómicas de 18 genotipos de garbanzo blanco para exportación, localidad Culiacán, Sinaloa 2006-2012.

Table 2. Main Agronomic features of 18 white chickpea genotypes for export, Culiacan, Sinaloa 2006-2012.

| Genotipo          | Días a Floración | Madurez | Apertura del dosel <sup>1</sup> | Calibre de Exportación <sup>2</sup> | Porcentaje Exportación <sup>3</sup> |
|-------------------|------------------|---------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| HOGA 021          | 55-60            | 120-125 | SC                              | 46-48                               | 92-94                               |
| Blanoro           | 55-60            | 120-125 | SC                              | 44-46                               | 92-95                               |
| HOGA 067          | 55-60            | 125-130 | SA                              | 42-44                               | 94-98                               |
| HOGA 2001-2-2     | 55-60            | 120-125 | SA                              | 44-46                               | 92-94                               |
| HOGA 2002-6-3     | 55-60            | 120-125 | SA                              | 42-44                               | 92-94                               |
| HOGA 2002-40-6    | 55-60            | 118-125 | SA                              | 46-48                               | 92-94                               |
| HOGA 2002-20-10   | 55-60            | 120-125 | SA                              | 48-50                               | 93-95                               |
| HOGA 2004-20-6    | 55-60            | 122-128 | SA                              | 46-48                               | 94-96                               |
| Blanco Sinaloa 92 | 55-65            | 115-130 | SA                              | 39-52                               | 95-98                               |
| CUGA 08-751       | 45-65            | 110-130 | SC                              | 43-50                               | 93-98                               |
| CUGA 08-743       | 40-65            | 110-130 | SC                              | 38-47                               | 91-99                               |
| CUGA 08-1090      | 40-65            | 110-130 | SC                              | 39-42                               | 94-97                               |
| CUGA 08-1210      | 45-65            | 110-130 | SC                              | 39-49                               | 93-99                               |
| CUGA 09-2067      | 45-65            | 105-130 | SC                              | 42-52                               | 89-97                               |
| CUGA 08-3096      | 45-65            | 110-130 | SC                              | 39-45                               | 96-98                               |
| CUGA 09-3105      | 40-65            | 110-130 | SC                              | 38-47                               | 96-99                               |
| CUGA 09-3160      | 40-65            | 100-130 | SC                              | 41-52                               | 92-98                               |
| CUGA 09-3168      | 45-65            | 105-130 | SC                              | 44-52                               | 97-99                               |

<sup>1</sup>SC= semicerrado; SA= semiabierto; <sup>2</sup>= número de granos en 30 g; <sup>3</sup>= (%) de granos de 9 mm o más.

Los ensayos de rendimiento se establecieron y condujeron de acuerdo a las recomendaciones culturales en cada región, incluyendo riego (con excepción de Mocolito y La Angostura que fueron conducido con humedad residual del temporal) y diferente nivel de fertilización entre ambientes, de acuerdo al tipo de suelo y nivel de fertilidad del área experimental, así como el control convencional de insectos, principalmente *Heliothis virescens* y *Liriomyza cicerina*.

El tamaño de la parcela experimental fue de cuatro surcos de cinco metros de longitud con 0.8 m de separación entre surcos, con cuatro repeticiones, los tratamientos fueron distribuidos bajo un diseño de bloques completos al azar. En cada unidad experimental en los dos surcos centrales se determinó el rendimiento de grano y el calibre del mismo. Este último se determinó al pesar 30 gramos y contar el número de semillas de una muestra pasada por una malla de 9 mm.

Para el análisis estadístico del rendimiento de grano y el peso del grano se utilizó un diseño factorial considerando ambientes y genotipos, y su interacción, para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey y sólo para rendimiento se realizó la estimación de la interacción genotipo-ambiente con el modelo AMMI (Efectos Aditivos e Interacción Multiplicativa) utilizando las medias ajustadas, para calcular la prueba de Gollob (Burgueño *et al.*, 2001). El modelo estadístico AMMI es:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum_{k=1}^n B_k \tau_{ik} \delta_{jk} + E_{ij}$$

Donde,  $Y_{ij}$  = rendimiento promedio del  $i$ -ésimo genotipo en el  $j$ -ésimo ambiente;  $\mu$  = efecto de la media general;  $G_i$  = efecto del  $i$ -ésimo genotipo;  $A_j$  = efecto del  $j$ -ésimo ambiente;  $n$  = número de componentes principales retenidos en el modelo;  $B_k$  = valor singular para componente principal;  $\tau_{ik}$  = valores de los vectores propios de los genotipos para cada componente principal;  $\delta_{jk}$  = valores propios de los ambientes para cada componente principal;  $E_{ij}$  = error experimental.

## Resultados y discusión

El análisis de varianza de ambos caracteres, rendimiento y calibre de grano mostraron diferencias estadísticas tanto en los efectos de ambientes, como en el de genotipos y su interacción ( $p < 0.0001$ ) (Cuadro 2). Los coeficientes de variación fueron de 18 y 6%, respectivamente, lo que indica que las variaciones aleatorias permiten considerar a las

The performance tests were established and conducted according to cultural recommendations in each region, including irrigation (except Mocolito and La Angostura which were conducted with residual moisture temporary) and different fertilization level between environments, according to the type of soil fertility level experimental area, as well as conventional insect control, mainly *Heliothis virescens* and *Liriomyza cicerina*.

The size of the experimental plot was four rows of five meters long with 0.8 m spacing between rows, with four replications, the treatments were distributed under a completely randomized design blocks. In each experimental unit in the two central rows grain yield and the size thereof it was determined. The latter was determined by weighing 30 grams and count the number of seeds of a sample passed through a mesh 9 mm.

For statistical analysis of grain yield and grain weight a factorial design was used considering environments and genotypes and their interaction, for mean comparison Tukey test was used and only estimation performance interaction is genotype-environment with AMMI model (Additive Effects and Multiplicative Interaction) using the adjusted means to calculate the test Gollob (Burgueño *et al.*, 2001). The statistical model AMMI is:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum_{k=1}^n B_k \tau_{ik} \delta_{jk} + E_{ij}$$

Where,  $Y_{ij}$  = average yield of  $i$ -th genotype in the  $j$ -th environment;  $\mu$  = effect of general average;  $G_i$  = effect of the  $i$ -th genotype;  $A_j$  = effect of the  $j$ -th environment;  $n$  = number of principal components retained in the model;  $B_k$  = singular value for main component;  $\tau_{ik}$  = values of the eigenvectors of genotypes for each major component;  $\delta_{jk}$  = values of environments for each main component;  $E_{ij}$  = experimental error.

## Results and discussion

The analysis of variance of both characters, yield and seed size showed statistical differences in the effects of both environments, as in the genotypes and their interaction ( $p < 0.0001$ ) (Table 2). The coefficients of variation were 18 and 6%, respectively, indicating that random variations allow consider as reliable assessments. Variability represented by IGA effects, determined from the ratio of the sum of squares

evaluaciones como confiables. La variabilidad representada por los efectos de la IGA, determinada a partir de la proporción de su suma de cuadrados con respecto a las sumas de cuadrados de los factores en estudio representó 32% en el caso de rendimiento y 19% en el peso del grano, porcentajes que se consideran de importancia. Esto justifica plenamente el análisis detallado de la IGA (Yan and Tinker, 2006).

Entre ambientes hubo diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) en rendimiento de grano (Cuadro 2), diferencias principalmente relacionadas con el manejo del cultivo [fecha de siembra, sistema de riego y precipitación (Cuadro 1) y la incidencia de insectos y enfermedades, entre éstas principalmente el complejo de hongos del suelo que causa pudriciones de raíz (Arvayo *et al.*, 2011). Las diferencias entre genotipos ( $p < 0.0001$ ) y el efecto significativo de la interacción genotipo-ambiente ( $p < 0.0001$ ), demostró la respuesta diferencial de los genotipos al producirse en diferentes condiciones ambientales.

Los ambientes de mayor rendimiento fueron Baja California Sur con 3.63 t ha<sup>-1</sup> y Navojoa con 2.91 t ha<sup>-1</sup>, rendimientos estadísticamente diferentes entre sí ( $p < 0.05$ ), y con respecto al resto de ambientes. Los rendimientos más bajos se obtuvieron en los ambientes Culiacán y Los Mochis con 1.62 y 1.11 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 3). En el ambiente de mayor rendimiento en B. C. S. el cultivo se condujo con riego por goteo, y sin presión por insectos y enfermedades. En el ambiente de menor rendimiento, Los Mochis, el cultivo fue afectado durante la etapa de llenado del grano por enfermedades foliares y la falta de riego, lo que provocó sequía terminal. En el caso de los ambientes de Mocorito y La Angostura, Sinaloa, el cultivo se estableció y condujo con la humedad residual aportada por las lluvias (Cuadro 1), las que permitieron rendimientos aceptables (Cuadro 3).

with respect to the sums of squares of the factors under study represented 32% for yield and 19% by weight of the grain, percentages are considered important. This fully justifies the detailed analysis of the IGA (Yan and Tinker, 2006).

Among environments there were significant differences ( $p < 0.0001$ ) in grain yield (Table 2), differences mainly related to crop management [date of planting, irrigation and precipitation (Table 1)] and the incidence of insects and disease, among them mainly the complex of soil fungi that cause root rots (Arvayo *et al.*, 2011). The differences between genotypes ( $p < 0.0001$ ) and significant effect of genotype-environment ( $p < 0.0001$ ) interaction showed the differential response of genotypes to occur in different environmental conditions.

Higher performance environments were Baja California Sur with 3.63 t ha<sup>-1</sup> and Navojoa with 2.91 t ha<sup>-1</sup>, yields statistically different from each other ( $p < 0.05$ ), and with respect to other environments. Lower yields were obtained in Culiacan and Los Mochis environments with 1.62 and 1.11 t ha<sup>-1</sup>, respectively (Table 3). In the environment of higher performance in B.C.S. cultivation it was conducted with drip irrigation, without pressure from insects and diseases. In the environment of lower yield, Los Mochis, the crop was affected during the grain filling stage by foliar diseases and lack of irrigation, causing terminal drought. In the case of environments Mocorito and La Angostura, Sinaloa, the culture was established and led the residual moisture provided by rainfall (Table 1), which allowed acceptable yields (Table 3).

The highest caliber export between environments was obtained in Culiacan with 41 grains in 30 grams, followed by Costa de Hermosillo and La Angostura with 47 grains in 30 grams; while the lowest grain weight was obtained in

**Cuadro 3. Análisis de varianza combinado del rendimiento y calibre de grano de 18 genotipos de garbanzo en siete ambientes en el Noroeste de México, 2011-2012.**

**Table 3. Analysis of variance combined performance and grain size of 18 chickpea genotypes in seven environments in northwestern Mexico 2011-2012.**

| Fuente    | GL  | Rendimiento       |                |            |              | Calibre de grano  |                |            |              |
|-----------|-----|-------------------|----------------|------------|--------------|-------------------|----------------|------------|--------------|
|           |     | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Valor de F | Signif. de F | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Valor de F | Signif. de F |
| Ambiente  | 6   | 291.23            | 48.54          | 275.36     | **           | 9990.4            | 1665.1         | 210.2      | **           |
| Rep (Amb) | 21  | 12.54             | 0.597          | 3.39       | **           | 340.1             | 16.2           | 2.04       | **           |
| Genotipos | 17  | 20.262            | 1.192          | 6.76       | **           | 1609.5            | 94.7           | 11.95      | **           |
| Amb x Gen | 102 | 145.84            | 1.43           | 8.11       | **           | 2786.3            | 27.3           | 3.45       | **           |
| CV        |     | 18%               |                |            |              | 6%                |                |            |              |

El mayor calibre de exportación entre ambientes se obtuvo en Culiacán con 41 granos en 30 gramos, seguido de Costa de Hermosillo y La Angostura con 47 granos en 30 gramos; mientras que el menor peso de grano se obtuvo en Los Mochis y Navojoa con 50 y 57 granos en 30 gramos, respectivamente (Cuadro 4). Dentro de ambientes no existió asociación entre el rendimiento y el calibre del grano; de hecho su asociación lineal conjunta determinada por el método de correlación lineal de Pearson, fue de  $r=0.02$ , no significativa.

Los Mochis and Navojoa with 50 and 57 grains in 30 grams, respectively (Table 4). Within environments there was no association between performance and the caliber of the grain; in fact their joint linear association determined by the method of linear Pearson correlation was  $r=0.02$ , not significant.

Genotypes showed higher average yield were Hoga 2001-2-2 with 2.72 t ha<sup>-1</sup>, Hoga 2002-6-3 with 2.59 with Hoga 2.60 and 2.52 (Table 4), while the lowest yields were obtained

**Cuadro 4. Rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) de 18 genotipos de garbanzo blanco en siete ambientes de la región Noroeste de México, ciclo 2011-2012.**

**Table 4. Yield (t ha<sup>-1</sup>) of 18 white chickpea genotypes in seven rooms of the Northwest region of Mexico, 2011-2012 cycle.**

| No. | Genotipo <sup>1</sup> | Ambiente            |        |        |        |      |         |        | Promedio <sup>3</sup> |
|-----|-----------------------|---------------------|--------|--------|--------|------|---------|--------|-----------------------|
|     |                       | Y1 <sup>2</sup>     | Y2     | Y3     | Y4     | Y5   | Y6      | Y7     |                       |
| 3   | H 2001-2-2            | 3.65                | 3.18   | 1.29   | 3.89   | 1.54 | 2.84    | 2.63   | 2.719 a               |
| 4   | H 2002-6-3            | 3.38                | 2.43   | 1.06   | 3.62   | 1.77 | 2.86    | 2.79   | 2.590 ab              |
| 2   | H 067                 | 3.14                | 2.98   | 1.07   | 3.93   | 1.52 | 2.39    | 2.56   | 2.517 abc             |
| 11  | C 08-743              | 3.34                | 3.13   | 0.93   | 3.28   | 1.8  | 2.8     | 2.31   | 2.514 abc             |
| 10  | C 08-751              | 3.22                | 2.87   | 1.13   | 3.62   | 1.79 | 2.34    | 2.3    | 2.467 abcd            |
| 9   | H 2004-20-6           | 3.12                | 3.36   | 0.86   | 3.61   | 1.63 | 2.33    | 2.32   | 2.455 abcd            |
| 6   | H 2002-20-10          | 3.34                | 2.7    | 0.86   | 3.78   | 1.34 | 1.56    | 1.43   | 2.386 abcde           |
| 7   | Bco. Sin. 92          | 3.4                 | 2.33   | 0.78   | 3.66   | 1.49 | 2.59    | 2.12   | 2.339 bcdef           |
| 8   | Blanoro               | 3.56                | 2.76   | 1.38   | 3.85   | 1.24 | 1.17    | 1.94   | 2.271 bcdef           |
| 1   | H 021                 | 2.94                | 2.71   | 0.79   | 3.59   | 1.32 | 2.12    | 2.34   | 2.262 bcdef           |
| 14  | C 09-2067             | 0.59                | 2.96   | 1.23   | 3.92   | 2.11 | 2.65    | 1.87   | 2.192 cdef            |
| 13  | C 08-1210             | 1.21                | 2.93   | 0.73   | 3.33   | 1.89 | 2.75    | 2.09   | 2.166 cdef            |
| 17  | C 09-3160             | 0.6                 | 3.3    | 1.1    | 3.9    | 1.51 | 2.68    | 2.02   | 2.158 cdef            |
| 16  | C 09-3105             | 1.23                | 2.98   | 1.03   | 3.06   | 1.42 | 2.83    | 2.75   | 2.150 cdef            |
| 18  | C 09-3168             | 0.83                | 3.4    | 1.01   | 3.73   | 1.77 | 2.44    | 1.87   | 2.149 cdef            |
| 12  | C 08-1090             | 1.06                | 2.68   | 1.22   | 3.58   | 1.77 | 2.32    | 1.99   | 2.088 def             |
| 15  | C 08-3096             | 0.27                | 3.46   | 1.08   | 3.82   | 1.94 | 2.21    | 1.45   | 2.034 ef              |
| 5   | H 2002-40-6           | 3.08                | 2.12   | 0.81   | 3.1    | 1.29 | 1.81    | 1.7    | 1.988 f               |
|     | Prom. Amb.            | 2.34 c <sup>2</sup> | 2.91 b | 1.11 c | 3.63 a | 1.62 | 2.37 bc | 2.14 c |                       |

<sup>1</sup>= Cuga; H= Hoga; <sup>2</sup>= ambientes como en el Cuadro 1; <sup>3</sup>=separación de medias por Tukey al 0.05.

Los genotipos que mostraron mayor rendimiento promedio fueron Hoga 2001-2-2 con 2.72 t ha<sup>-1</sup>, Hoga 2002-6-3 con 2.60 y Hoga 067 con 2.52 (Cuadro 4), mientras que los rendimientos más bajos se obtuvieron con los genotipos Cuga 08-1090, Cuga 08-3096 y Hoga 2002-40-6 con 2.09, 2.03 y 1.99 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Sólo Hoga 2002-2-2 resultó significativamente superior a las variedades comerciales Blanco Sinaloa 92 y Blanoro, éstas mostraron un rendimiento promedio similar. La similitud en el rendimiento

with genotypes Cuga 08-1090, Cuga 08-3096 and Hoga 2002-40-6 with 2.09, 2.03 and 1.99 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The Hoga 2002-2-2 only significantly superior to commercial varieties Blanco Sinaloa 92 and Blanoro, they showed a similar average yield. The similarity in performance of most experimental genotypes with the witness Blanco Sinaloa 92 (Gomez *et al.*, 2003), in part due to this popular variety is one of the most used in genetic improvement programs parents region of. Through test environments, different varieties

de la mayoría de los genotipos experimentales con el testigo Blanco Sinaloa 92 (Gómez *et al.*, 2003), en parte se debe a que esta popular variedad es uno de los progenitores más utilizados en el mejoramiento genético en los programas de la región. A través de los ambientes de prueba, diferentes variedades ocuparon los primeros puestos en rendimiento. La respuesta tan contrastante en el rendimiento de algunos genotipos a través de localidades, como las líneas Cuga 08-3096 y Cuga 08-3160 entre las localidades de Hermosillo (Y1) y BCS (Y4), enfatiza la presencia de interacción cruzada, lo que justifica el análisis de la IGA.

En el número de granos en 30 g, los genotipos con mayor peso promedio fueron Cuga 08-743, Hoga 067 y Hoga 021 con 45, 45 y 47, los de menor peso fueron Hoga 2002-6-3, Hoga 2002-20-10 y Cuga 09-2067 con 50, 50 y 53 (Cuadro 5).

occupied the top positions in performance. So contrasting the performance of some genotypes across locations such as lines Cuga 08-3096 and Cuga 08-3160 between the towns of Hermosillo (Y1) and BCS (Y4) response emphasizes the presence of cross-talk, which justify analyzing the IGA.

In the number of grains in 30 g, genotypes with higher average weight were Cuga 08-743, Hoga 067 and Hoga 021 with 45, 45 and 47, the lower weight were Hoga 2002-6-3, Hoga 2002-20-10 and Cuga 09-2067 with 50, 50, and 53 (Table 5).

The average performance and control varieties was similar caliber, same that were only surpassed in yields per Hoga 2001-2-2, this line emerges as candidate for registration as a new variety. The fact that the towns and genotypes with

**Cuadro 5. Calibre de grano (número de granos en 30 g) de 18 genotipos de garbanzo blanco en siete ambientes de la región Noroeste de México, ciclo 2011-2012.**

**Table 5. Calibrate grain (number of grains in 30 g) of 18 white chickpea genotypes in seven rooms of the Northwest region of Mexico, 2011-2012 cycle.**

| No. | Genotipo <sup>1</sup> | Ambiente          |      |      |      |      |      |      | Promedio <sup>3</sup> |
|-----|-----------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|
|     |                       | Y1 <sup>2</sup>   | Y2   | Y3   | Y4   | Y5   | Y6   | Y7   |                       |
| 3   | H 2001-2-2            | 44.5              | 54.7 | 50.0 | 46.5 | 43.2 | 44.7 | 47.5 | 47 cdf                |
| 4   | H 2002-6-3            | 44.5              | 63.0 | 51.7 | 51.0 | 44.5 | 46.2 | 48.5 | 50 ab                 |
| 2   | H 067                 | 40.7              | 55.7 | 46.2 | 43.7 | 38.7 | 45.7 | 45.5 | 45 ef                 |
| 11  | C 08-743              | 39.2              | 52.2 | 47.5 | 45.5 | 38.7 | 43.5 | 47.0 | 45 f                  |
| 10  | C 08-751              | 48.2              | 56.7 | 48.2 | 46.5 | 43.2 | 51.0 | 50.0 | 49 bcd                |
| 9   | H 2004-20-6           | 44.0              | 56.5 | 52.7 | 47.7 | 43.5 | 47.2 | 49.2 | 48 bcd                |
| 6   | H 2002-20-10          | 45.2              | 63.5 | 52.7 | 49.5 | 42.2 | 48.7 | 49.7 | 50 ab                 |
| 7   | Bco. Sin. 92          | 45.5              | 59.2 | 52.2 | 45.7 | 40.0 | 45.7 | 48.0 | 48 bcd                |
| 8   | Blanoro               | 42.5              | 57.5 | 50.2 | 47.2 | 40.5 | 47.0 | 47.7 | 48 bcd                |
| 1   | H 021                 | 44.7              | 58.0 | 47.7 | 47.2 | 40.7 | 44.5 | 46.0 | 47 cdf                |
| 14  | C 09-2067             | 56.5              | 60.7 | 52.0 | 52.7 | 44.1 | 50.2 | 51.2 | 53 a                  |
| 13  | C 08-1210             | 42.0              | 57.2 | 48.7 | 49.0 | 41.2 | 46.5 | 46.0 | 47 cdf                |
| 17  | C09-3160              | 53.7              | 55.2 | 47.7 | 47.5 | 42.7 | 47.7 | 50.5 | 49 bcd                |
| 16  | C 09-3105             | 40.5              | 54.7 | 56.0 | 46.7 | 41.0 | 45.5 | 46.2 | 47 cdf                |
| 18  | C 09-3168             | 52.5              | 66.5 | 51.2 | 51.2 | 40.2 | 47.0 | 48.5 | 50 ab                 |
| 12  | C 08-1090             | 51.5              | 57.0 | 49.0 | 49.2 | 39.5 | 45.5 | 47.2 | 48 bcd                |
| 15  | C 08-3096             | 56.7              | 51.2 | 52.2 | 42.5 | 37.0 | 44.2 | 47.0 | 47 cdf                |
| 5   | H 2002-40-6           | 46.0              | 61.5 | 48.7 | 48.2 | 42.2 | 48.7 | 50.2 | 49 bcd                |
|     | Prom. Amb.            | 47 c <sup>2</sup> | 57 a | 50 b | 48 c | 41 d | 47 c | 48 c |                       |

<sup>1</sup>= Cuga; H= Hoga; <sup>2</sup>= ambientes como en el Cuadro 1; <sup>3</sup>= separación de medias por Tukey al 0.05.

El rendimiento y calibre promedio de las variedades testigos fue similar, mismas que sólo fueron superadas en rendimientos por Hoga 2001-2-2, ésta línea surge como candidata para su

higher yield and grain size were different or contrasting indicates that the potential yield is independent of the grain size; this is the last of the direct components of performance

registro como nueva variedad. El hecho de que las localidades y genotipos de mayor rendimiento y tamaño del grano fueran diferentes o contrastantes indica que el rendimiento potencial es independiente del tamaño del grano; éste es el último de los componentes directos del rendimiento en definirse (Guller *et al.*, 2001) y depende de la capacidad de removilización de cada genotipo y de las condiciones ambientales en la etapa final del llenado de grano.

### Análisis de la IGA

El análisis de la IGA para rendimiento indicó que con los dos primeros componentes principales (70.1 y 15.6%, respectivamente) fue posible explicar el 85% de la variación fenotípica presente en la matriz de efectos de genotipos y de IGA, por lo que 14.3% de la variación no fue considerada en el análisis (Cuadro 6). Kandus *et al.* (2010), encontraron que la suma de cuadrados para el efecto del medio ambiente fue mayor que la suma de cuadrados para el efecto de las líneas más la interacción GxE, siendo el 48,3% y el 43,7% de la suma de cuadrados total, respectivamente lo que sugirió el análisis de datos con el modelo SREG. Los primeros dos componentes principales para este modelo explicaron 93% de la varianza de los datos.

Con respecto a ambientes, Hermosillo (Y1) representa el más alejado del origen, donde se expresa la mayor IGA, en tanto que los ambientes Culiacán (Y5), Navojoa (Y2) y BCS (Y4), son los más cercanos al origen, es decir aquellos en donde la interacción mostró menor expresión y representan localidades donde se puede seleccionar con mayor confiabilidad (variedades estables). De hecho la variedad Blanco Sinaloa 92, fue desarrollada en Culiacán (Gómez *et al.*, 2003).

defined (Guller *et al.*, 2001) and depends on the ability of remobilization of each genotype and environmental conditions in the final stage of grain filling.

### Analysis of IGA

Analysis of the IGA to yield indicated that the first two principal components (70.1 and 15.6%, respectively) two possible to explain 85% of the phenotypic variation present in the matrix effects of genotypes and IGA, so 14.3% variation was not considered in the analysis (Table 6). Kandus *et al.* (2010), they found that the sum of squares for the environmental effect was greater than the sum of squares for the effect of interaction GxE more lines, being 48.3% and 43.7% of the sum of total square respectively suggesting data analysis with the SREG model. The first two main components for this model explained 93% of the variance of the data.

Regarding environments, Hermosillo (Y1) represents the farthest from the origin, where most IGA is expressed, whereas Culiacan (Y5), Navojoa (Y2) and BCS (Y4) environments are closest to the origin, i.e. those where the interaction showed lower expression and represent locations where you can select more reliable (stable varieties). In fact the variety Blanco Sinaloa 92, was developed in Culiacan (Gomez *et al.*, 2003).

One of the merits G x E biplot model is that it can graphically display which was better and that atmosphere in a data set (Yan, 2000). With the five genotypes furthest from the origin (0, 0), Hoga 2002-6-3 (4), Blanoro (8), Hoga 2002-20-10 (6), Cuga 08-3096 (15) and Cuga 09-3105 (16), a polygon so that the marks of the other genotypes were inside the polygon was drawn. On each side of the

**Cuadro 6. Análisis de componentes principales, variabilidad por componente individual y acumulada para el rendimiento de 18 genotipos de garbanzo en siete ambientes de la región Noroeste de México, 2011-2012.**

**Table 6. Principal component analysis, individual component variability and accumulated for the performance of 18 chickpea genotypes in seven environments in the Northwest region of Mexico 2011-2012.**

| CP <sup>1</sup> | GL | CM   | SC      | (%) IND | (%) ACUM | Fc      | P>F     |
|-----------------|----|------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 1               | 22 | 5.29 | 116.533 | 70.1559 | 70.1     | 30.0505 | 0       |
| 2               | 20 | 1.29 | 25.993  | 15.6483 | 85.8     | 7.373   | 0       |
| 3               | 18 | 0.58 | 10.441  | 6.2857  | 92.1     | 3.2907  | 0.00001 |
| 4               | 16 | 0.35 | 5.695   | 3.4285  | 95.5     | 2.0192  | 0.01151 |
| 5               | 14 | 0.23 | 3.342   | 2.0118  | 97.5     | 1.3542  | 0.17353 |
| 6               | 12 | 0.24 | 2.897   | 1.744   | 99.3     | 1.3696  | 0.17826 |
| 7               | 10 | 0.12 | 1.205   | 0.7257  | 100      | 0.6839  | 0.73954 |

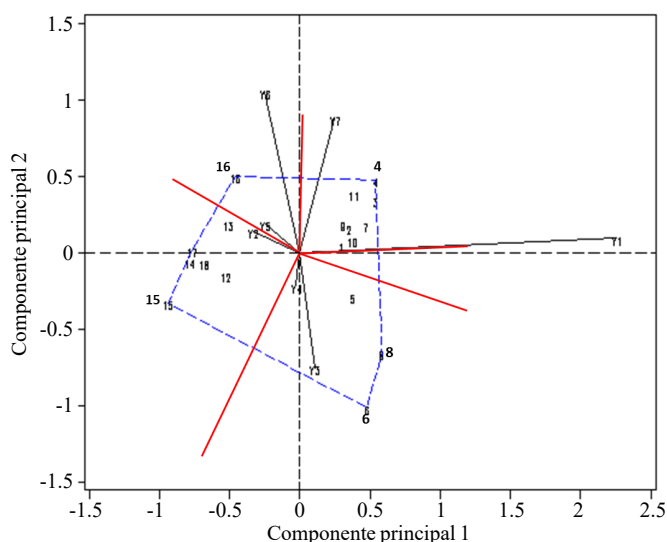
<sup>1</sup>CP= componente principal; GL= grados de libertad; CM= cuadrado medio; (%) IND= porcentaje individual; ACUM= porcentaje acumulado; Fc= prueba de F calculada; P> F= significancia estadística.

Uno de los méritos del modelo GxE biplot es que puede mostrar gráficamente cual fue mejor y en cual ambiente en un conjunto de datos (Yan, 2000). Con los cinco genotipos más alejados del origen (0, 0), Hoga 2002-6-3 (4), Blanoro (8), Hoga 2002-20-10 (6), Cuga 08-3096 (15) y Cuga 09-3105 (16), se trazó un polígono de tal forma que las marcas de los demás genotipos quedaron dentro del polígono. De cada lado del polígono se trazaron líneas perpendiculares y al hacerlas coincidir con el origen se generaron cinco sectores del biplot (Figura 1). El genotipo en el vértice de cada sector, es el de mayor adaptación a los ambientes incluidos dentro de ese sector, esto solo si los dos primeros CP explicaron la mayor proporción de los efectos de la IGA (Yan y Tinker, 2006), como ocurrió en este estudio. En éste caso, como el conjunto de datos solo incluye información de un año, no es posible inferir nada sobre la IGA a través de años, requisito indispensable para la correcta identificación de variedades estables a través del tiempo y el espacio, por ello, hay que ser cautelosos en la interpretación del biplot (Yang *et al.*, 2009). Sin embargo, la información obtenida es de gran utilidad para el mejoramiento genético en la región, ya que las localidades de menor rendimiento Mochis (abundante lluvia) y Los Mochis (baja precipitación), así como Hermosillo, en contraste con el resto, mostraron estrés ambiental por sequía o enfermedades, lo que permitió identificar las limitaciones de los genotipos evaluados.

Uno de los sectores de la Figura 1 incluye a los genotipos: Cuga 08-3096 (15), Cuga 08-1090 (12), Cuga 08-1210 (13), Cuga 09-2067 (14), Cuga 09-3160 (17) y Cuga 09-3168 (18), que presentaron adaptación en el ambiente Y2 (Navojua), en éste ambiente representativo del Valle del Mayo, el genotipo Cuga 08-3096 (15) que se encuentra en el vértice del polígono, es la mejor opción por su adaptación específica. En Culiacán (Y5) y Mochis (Y6) el genotipo Cuga 09-3105 (16) que se encuentra en el vértice correspondiente, es el de mayor adaptación específica. Los genotipos Hoga 2002-2-2 (3), Hoga 2002-6-3 (4), Cuga 08-743 (11) y Blanco Sinaloa 92 (7), presentan excelente adaptación en la Angostura.

Los genotipos Hoga 021 (1), Hoga 067 (2), Hoga 2004-20-6 (9) y Cuga 08-751 (10) son los genotipos que, al estar más cercanos al origen, representan a los de mayor o amplia adaptación a los ambientes de prueba. En los ambientes BCS (Y4) y Mochis (Y3) los genotipos Hoga 2002-40-6 (5), Blanoro (8) y Hoga 2002-20-10 (6), tuvieron excelente adaptación (Figura 1). Hoga 021 (4) es el de mayor rendimiento en los ambientes Angostura (Y7) y Mochis (Y6), y se encuentra cercano los genotipos Hoga 2001-2-2 (3) y Cuga 08-743 (11); en promedio de todos los ensayos, estos

polygon perpendicular lines they were drawn and match them to the five sectors of the biplot origin were generated (Figure 1). The genotype at the apex of each sector is the most adapted to the environments included in this sector, this only if the first two CP accounted for the largest proportion of the effects of the IGA (Yan and Tinker, 2006), as happened in this studio. In this case, as the data set only includes information of a year, it is not possible to infer anything about the IGA through years, essential for correct identification of stable varieties requirement through time and space, therefore there to be cautious in interpreting the biplot (Yang *et al.*, 2009). However, the information obtained is useful for genetic improvement in the region as the towns of lower yield Mochis (heavy rain) and Los Mochis (low rainfall) and Hermosillo, in contrast to the rest they showed stress environmental drought or disease, which identified the limitations of genotypes.



**Figura 1. Representación de genotipos y ambientes respecto a los dos primeros ejes de componentes principales del análisis AMMI del rendimiento promedio de 18 genotipos de garbanzo evaluados en siete ambientes del Noroeste de México.**

**Figure 1. Representation of genotypes and environments over the first two axes of major components of AMMI analysis of the average yield of 18 chickpea genotypes evaluated in seven environments Northwest Mexico.**

One sector of Figure 1 includes genotypes: Cuga 08-3096 (15), Cuga 08-1090 (12), Cuga 08-1210 (13), Cuga 09-2067 (14), Cuga 09-3160 (17) and Cuga 09-3168 (18), presented in the environment adaptation Y2 (Navojua), in this representative May Valley environment, genotype Cuga 08-3096 (15) located in the vertex of the polygon, is the best option for your specific adaptation. Culiacan (Y5)

genotipos son los de mayor potencial de rendimiento. En el caso de los genotipos 6 y 7 al tener el mismo comportamiento, aparece en la figura sólo el segundo.

En la localidad de los Mochis, la línea Hoga 2002-20-10, que se encuentra en el vértice de la sección, fue la de mayor rendimiento. El rendimiento promedio obtenido en esta localidad fue bajo, esto ocurrió porque durante el desarrollo del cultivo hubo presión por enfermedades foliares: moho gris (*Botrytis cinerea* Pers. Ex. Fr.), mildiu polvoriento [*Leuveillula taurica* (Lev.) Salmon] y marchitez por *Fusarium* [*Fusarium oxysporum* Schlechtend. Emend. Snyd. Et Hans, f. sp. *ciceris* (Padwick) Matuo et K. Sato] (datos no presentados). Así mismo, en la localidad de Hermosillo, que fue la más alejada al origen (Figura 1), ocurrió una fuerte presión por pudrición negra de la raíz [*Fusarium solani* (Mart.) Sacc.], afectando principalmente a los genotipos CUGA procedentes del programa de mejoramiento de Sinaloa. Por la ocurrencia de enfermedades, las localidades de Los Mochis y Hermosillo se pueden considerar de alta capacidad de discriminación de genotipos y sirven para practicar selección contra las enfermedades mencionadas.

La resistencia múltiple a enfermedades se considera como un componente importante de la amplia adaptación (Chataika *et al.*, 2010). La obtención de bajos rendimientos en localidades específicas sin déficits de humedad y fertilidad del suelo, se debió a la presión por enfermedades específicas como ocurrió en Los Mochis y Hermosillo. La precocidad a la floración se ha mencionado como característica importante en la amplia adaptación (Berger *et al.*, 2006), sobre todo en ambientes donde el cultivo se desarrolló bajo condiciones de humedad residual con alta posibilidad de estrés por sequía terminal. En este estudio, todos los genotipos incluidos son de fenología y tamaño de grano similar. De hecho, el enfoque en la recuperación de las características del grano, tamaño y color en las poblaciones segregantes, reduce la diversidad utilizada en los programas de mejoramiento en ensayos con líneas avanzadas.

## Conclusiones

El efecto ambiental y la interacción genotipo por ambiente fueron de mayor magnitud para el rendimiento que para el tamaño del grano, lo que indica la inestabilidad del rendimiento y la estabilidad del peso del grano a través de ambientes.

and Mocarito (Y6) genotype Cuga 09-3105 (16) located in the corresponding vertex, is the most specific adaptation. The Hoga 2002-2-2 (3), Hoga 2002-6-3 (4), Cuga 08 743 (11) and Blanco Sinaloa 92 (7), genotypes exhibit excellent adaptation in Angostura.

Hoga genotypes 021 (1), Hoga 067 (2), Hoga 2004-20-6 (9) and Cuga 08 751 (10) are genotypes which, being closer to the origin represent larger or wide adaptation to test environments. In environments the BCS (Y4) and Mochis (Y3) genotypes Hoga 2002-40-6 (5), Blanoro (8) y Hoga 2002-20-10 (6), had excellent adaptation (Figure 1). Hoga 021 (4) is the highest performance in Angostura (Y7) and Mocarito (Y6) environments, and is near Hoga 2001-2-2 genotypes (3) and Cuga 08-743 (11); average of all trials, these genotypes are higher yield potential. For genotypes 6 and 7 to have the same behavior, shown in Figure only the second.

In the town of Los Mochis, the Hoga 2002-20-10 line, located at the top of the section, was the highest performance. The average yield obtained in this locality was low this was because during the crop development was pressure by foliar diseases: gray mold (*Botrytis cinerea* Pers Fr. Ex.), Powdery mildew [*Leuveillula taurica* Salmon (Lev.)] y wilting *Fusarium* [*Fusarium oxysporum* Schlechtend. Emend. Snyd. Hans et f. sp. *ciceris* (Padwick) K. Sato et Matuo] (data not shown). Also in the city of Hermosillo, which was the furthest from the origin (Figure 1), there was strong pressure from black root rot [*Fusarium solani* (Mart.) Sacc.], Mainly affecting CUGA genotypes from the program Sinaloa improvement. The occurrence of diseases, the towns of Los Mochis and Hermosillo can be considered high capacity of discrimination of genotypes and used to practice selection against these diseases.

Multiple disease resistance is considered as an important component of the comprehensive adaptation (Chataika *et al.*, 2010). The low yields in specific locations without moisture deficits and soil fertility was due to pressure from specific diseases such as occurred in Los Mochis and Hermosillo. Earliness to flowering mentioned as an important feature in the wide adaptation (Berger *et al.*, 2006), especially in environments where the culture was grown under conditions of residual moisture with high possibility of terminal drought stress. In this study, including all genotypes they are phenology and similar grain size. In fact, the focus on the recovery of grain characteristics, size and color in segregating populations, reduces diversity used in breeding programs in advanced testing lines.

Las ambientes y su capacidad de interaccionar con la respuesta de los genotipos, permitieron identificar genotipos con adaptación específica a ambientes similares.

Hoga 021 fue el genotipo de mayor adaptación y Hoga 2002-2-2 el de mayor rendimiento promedio.

El ambiente de la Costa de Hermosillo representó el más alejado del origen, donde se expresó la mayor IGA. Los ambientes de menor interacción, donde se puede seleccionar con mayor éxito variedades estables, fueron Culiacán y La Angostura en Sinaloa y Navojoa, Sonora.

## Literatura citada

- Arvayo, O. M.; Esqueda, M.; Acedo, F. E.; Sánchez, A. and Gutiérrez, A. 2011. Morphological variability and races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* associated with chickpea (*Cicer arietinum*) crops. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 6(1):114-121.
- Berger, J. D.; Ali, M.; Basu, P. S.; Chaudhary, B. D.; Chaturvedi, S. K.; Deshmukh, P. S.; Dharmarah, P. S.; Dwivedi, S. K.; Gangadhar, G. C.; Gaur, P. M.; Kumar, J.; Pannu, R. K.; Siddique, K. H. M.; Singh, D. N.; Singh, D. P.; Singh, S. J.; Turner, N. C.; Yadava, H. S. and Yadav, S. S. 2006. Genotype by environment studies demonstrate the critical role of phenology in adaptation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to high and low yielding environments of India. *Field Crops Res.* 98(2):230-244.
- Berger, J. D.; Speijers, J.; Sapra, R. L. and Sood, U. C. 2007. Genotype by environment interaction and chickpea improvement. *In: chickpea, breeding and management.* Yadav, S. S.; Redden, R. J.; Chen, W. and Sharma, B. (Eds.). CAB Intl. Wallingford, Oxfordshire OX108DE. UK. 72-100 pp.
- Burgueño, J.; Crossa, J. and Vargas, M. 2001. SAS PROGRAMS for graphing GE and GGE biplots. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) (consultado enero, 2010). <http://www.cimmyt.org/biometrics>.
- Chataika, B. Y. E.; Bokosi, J. M.; Kwapata, M. B.; Chirwa, R. M.; Mwale, V. M.; Mnyenyembe, P. and Myers, J. R. 2010. Performance of parental genotypes and inheritance of angular leaf spot (*Phaeosariopsis griseola*) resistance in the common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Afr. J. Biotechnol.* 9(28):4398-4406.
- Crossa, J.; Vasal, S. K. and Beck, D. L. 1990. Combining ability study in diallel crosses of CIMMYT's tropical early and intermediate maturity maize germplasm. *Maydica* 35(3):279-285.
- FAO-FAOSTAT. 2013. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Gabriel, K. R. 1971. Biplot display of multivariate matrices with application to principal components analysis. *Biometrika.* 58 (3): 453- 467.
- Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1996. AMMI analysis of yield trials. *In: genotype-by-environment interaction.* Kang, M. S. and Gauch, H. G. (Eds.). CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 85-122 pp.

## Conclusions

The environmental effect and genotype by environment interaction were greater for performance than for the grain size, indicating the instability of the performance and stability of grain weight across environments.

The environments and their ability to interact with the response of genotypes, genotypes allowed the identification of specific adaptation to similar environments.

Hoga 021 was the genotype most Hoga 2002-2-2 adaptation and the highest average yield.

The atmosphere of the Coast of Hermosillo represented the farthest from the origin, where most IGA said. Less interaction environments, where you can select more successful stable varieties were Culiacan and La Angostura in Sinaloa and Navojoa, Sonora.

*End of the English version*



- Gómez, G. R. M.; Gómez, G. L. y Salinas, P. R. A. 2003. Blanco Sinaloa 92, variedad de garbanzo blanco para exportación. Campo Experimental Valle de Culiacán; Centro de Investigación Regional Noroeste; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Folleto técnico Núm. 24. 20 p.
- Güler, M.; Adak, M. S. and Ulukan, H. 2001. Determining relationships among yield and some yield components using path coefficient analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Eur. J. Agron.* 14(2):161-166.
- Kandus, M.; Almorza, D.; Boggio, R. R. y Salerno, J. C. 2010. Statistical models for evaluating the genotype-environment interaction in maize (*Zea mays* L.). *Phyton, Int. J. Exp. Bot.* 79: 39-46.
- Romagosa, M. and Fox, P. N. 1993. Integration of statistical and physiological adaptation in barley cultivars. *Theor. Appl. Gen.* 86:822-826.
- SAGARPA-SIAP. 2013. Estadísticas agrícolas de la producción agropecuaria por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-producción-agrícola-por-cultivo/>.
- Yadav, S. S.; Longnecker, N.; Dusunceli, S.; Bejiga, G.; Yadav, M.; Rizvi, A. H.; Manohar, M.; Reedy, A. A.; Xaxico, Z. and Chen, W. 2007. Uses. Consumption and utilization. *In: chickpea, breeding and management.* Yadav, S. S.; Redden, R. J.; Chen, W. and Sharma, B. (Eds.). CAB Intl. Wallingford, Oxfordshire OX108DE. UK. 72-100 pp.
- Yan, W.; Hunt, L. A.; Sheng, Q. and Szlavnick, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40(3):597-605.

- Yan, W. and Kang, M. S. 2002. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 271 p.
- Yan, W. and Tinker, N. A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. Can. J. Plant Sci. 86(3):623-645.
- Yang, R. C.; Crossa, J.; Cornelius, P. L. and Burgueño, J. 2009. Biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction: Proceed with caution. Crop Sci. 49(5):1564-1576.
- Zobel, R. W.; Wright, M. J. and Gauch, H. G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agron. J. 80(3):388-393.