

## Respuesta agronómica de maíces híbridos a la fertirrigación en Xalostoc, Morelos\*

### Agronomic response of hybrid maize to fertirrigation in Xalostoc, Morelos

Gregorio Bahena Delgado<sup>1§</sup>, Antonio Castillo Gutiérrez<sup>1</sup>, Elizabeth Broa Rojas<sup>2</sup>, María Dolores Olvera Salgado<sup>3</sup>, Miguel Ángel Jaime Hernández<sup>4</sup> y Francisco García Matías<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Parque Industrial Cuautla. CP. 62715. (gbahena20@yahoo.com.mx; antoniocg62@hotmail.com). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla, km 125.5. Santiago Momoxpan. CP. 72760. (broarojaselizabeth@gmail.com). <sup>3</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos. CP. 62550. (dolvera@tlaloc.imta.mx). <sup>4</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad 1001, Colonia Chamilpa, Cuernavaca, Morelos. CP. 62209. (amacuzac1999@yahoo.com.mx; fgarmat@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: gbahena20@yahoo.com.mx.

#### Resumen

Los pequeños productores de maíz desconocen el los nuevos genotipos en su zona de trabajo y el empleo de sistemas tecnificados de riego. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico de maíces híbridos cultivados en fertirrigación. El trabajo se realizó en el ciclo invierno-primavera 2014 en la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Se determinó número de hojas arriba de la mazorca, hojas totales, peso y diámetro de mazorca y rendimiento de grano. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar. El mejor híbrido en cuanto a hojas arriba de la mazorca (6.46), hojas totales (13.66), peso de mazorca (206.88) y rendimiento de grano (7 613.3 kg ha<sup>-1</sup>) fue el H-377. Se confirmó que deben evaluarse los nuevos genotipos y se requiere de tecnificación para el ahorro del agua y elevar los rendimientos.

**Palabras clave:** fertirrigación, riego por goteo, tecnificación del riego.

#### Abstract

Small maize producers are unaware of the agronomic behavior of new genotypes in their work area and the use of technical irrigation systems. The objective of this paper was to evaluate the agronomic behavior of hybrid maize cultivated in fertirrigation. The study was carried out in the 2014 winter-spring cycle in the School of Higher Studies of Xalostoc. The number of leaves above the cob, total leaves, cob weight, cob diameter and grain yield were measured. A completely random block design was used. The best hybrid for leaves above the cob (6.46), total leaves (13.66), cob weight (206.88) and grain yield (7 613.3 kg ha<sup>-1</sup>) was H-377. It was confirmed that the new introduced genotypes should be evaluated and technification for water saving and yield raise is required.

**Keywords:** drip irrigation, fertigation, irrigation technification.

## Introducción

El cultivo de maíz es uno de los más importantes en el mundo después del trigo y el arroz, en México se encuentra distribuido en prácticamente todas las regiones ecológicas y edáficas. Al igual que otros cultivos como el frijol, las calabazas, el chile, este cereal es la base principal de la alimentación de los mexicanos ya que aporta carbohidratos y proteínas a los consumidores. Es un cultivo tradicional con mucha importancia social y económica, es utilizado por la agroindustria y alimentación animal para elaboración de aceites, frituras, harinas y otros derivados generando numerosos empleos. Los productores de maíz en México, cultivan ocho millones de hectáreas al año, de las que 1.5 millones cuentan con riego, mientras que 6.5 millones se cultivan en condiciones de temporal (Turrent *et al.*, 2012).

En el estado de Morelos, el maíz es el segundo cultivo más importante después de la caña de azúcar, ya que es cultivado en una superficie de 29 268 hectáreas (INEGI, 2009). De las cuales, 1 614 ha se siembran en condiciones de riego con un rendimiento medio de 3.63 t ha<sup>-1</sup> y 25 401 ha se siembran bajo temporal con un rendimiento medio de 3.36 t ha<sup>-1</sup> predominando el uso de variedades mejoradas en los dos sistemas de cultivo (SAGARPA-SIAP, 2014).

Sin embargo, debido al calentamiento global y al cambio climático los rendimientos de maíz se verán afectados seriamente por la escasez de agua, principalmente en las zonas áridas y semiáridas que comprenden dos terceras partes de México, Se estima que en la actualidad, el 15% de su territorio, se encuentra altamente expuesto al riesgo de los impactos adversos directos del cambio climático (Landa *et al.*, 2008).

La amenaza del cambio climático global afectará significativamente los factores climáticos indispensables para el crecimiento de los cultivos, como son la precipitación y la temperatura, impactando negativamente sobre la producción agrícola. En zonas semiáridas se espera una mayor frecuencia y severidad de sequías y calor excesivo, condiciones que pueden limitar significativamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Jones (2003), indica que los pequeños productores de maíz podrían esperar disminución en la productividad de alrededor del 10%, con fuertes variaciones regionales donde la temperatura y las precipitaciones jugaran un papel importante en la disponibilidad del agua para la agricultura.

## Introduction

Maize cultivation is one of the most important crops in the world after wheat and rice, in Mexico it is distributed in practically all ecological and edaphic regions. Like other crops such as beans, pumpkins, chili peppers, this cereal is the main food for Mexicans as it provides carbohydrates and protein to consumers. It is a traditional crop with great social and economic importance, is used by the agroindustry and animal feed for the elaboration of oils, fried foods, flour and other derivatives generating numerous jobs. Maize producers in Mexico grow eight million hectares a year, of which 1.5 million are irrigated, while 6.5 million are grown under temporary conditions (Turrent *et al.*, 2012).

In the state of Morelos, corn is the second most important crop after sugar cane, since it is cultivated in an area of 29 268 hectares (INEGI, 2009). Of this, 1 614 ha are planted under irrigation conditions with an average yield of 3.63 t ha<sup>-1</sup> and 25 401 ha are planted under temporary conditions with an average yield of 3.36 t ha<sup>-1</sup>, with the main use of improved varieties in both culture systems (SAGARPA-SIAP, 2014).

However, due to global warming and climate change, corn yields will be seriously affected by water scarcity, especially in arid and semi-arid areas comprising two-thirds of Mexico. It is estimated that at present time 15% of its territory, is highly exposed to the risk of direct adverse impacts of climate change (Landa *et al.*, 2008).

The threat of global climate change will significantly affect the climatic factors essential to crop growth, such as precipitation and temperature, negatively impacting agricultural production. In semiarid areas, a greater frequency and severity of droughts and excessive heat are expected, conditions that can significantly limit crop growth and yield. Jones (2003) indicates that small corn producers could expect a decrease in productivity of around 10%, with strong regional variations where temperature and precipitation play a significant role in the availability of water for agriculture.

The consequences may be very profound for subsistence farmers located in fragile environments, where large changes in productivity are expected, as these farmers depend on crops that would be potentially heavily affected,

Las consecuencias pueden ser muy profundas para los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles, donde se esperan grandes cambios en su productividad, pues estos agricultores dependen de cultivos que potencialmente serán muy afectados, por ejemplo, alimentos básicos como maíz, frijoles, papas o arroz (Altieri y Nicholls, 2009). Aunque en los últimos años se han realizado modelaciones importantes del cambio climático, es necesario integrar la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones y desarrollo de políticas (Schneider 2003) que definan acciones preventivas a sus efectos, en la producción de alimentos.

Por su parte, Nelson *et al.* (2009) mencionan que el aumento de las temperaturas terminara por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provocara la proliferación de malas hierbas y plagas. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial que podría alcanzar 9 mil millones de habitantes en 2050.

Por lo anterior, las acciones que deben atenderse ante la situación del cambio climático en el mundo es la transferencia de tecnología principalmente en los sistemas de riego, la validación de híbridos y variedades que se adapten a las condiciones que se esperan sean cambiantes en las diferentes regiones del país y en conjunto con la construcción de infraestructura en las comunidades rurales, se constituyan como factores indispensables para que los pequeños agricultores aprovechen con mayor eficiencia el agua disponible y que exista la posibilidad de incrementar los rendimientos para satisfacer las necesidades de alimentación de los seres humanos y animales. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de seis híbridos recomendados para la región oriente de Morelos cultivados en un sistema de riego por goteo y la técnica de fertirrigación.

## Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó durante el ciclo invierno-primavera 2014 en el campo experimental de la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc de la Universidad Autónoma del estado de Morelos, ubicada en el Ejido de Xalostoc,

for example, basic foods such as corn, beans, potatoes or rice (Altieri and Nicholls, 2009). Although important modeling of climate change has taken place in recent years, it is necessary to integrate uncertainty into the decision-making process and policy development (Schneider 2003) that defines preventive actions for food production purposes.

On the other hand, Nelson *et al.* (2009) mention that the temperature increase will end up reducing the production of the crops, as well as provoking the proliferation of weeds and pests. Changes in rainfall regimes increase the likelihood of short-term crop failure and long-term production reduction. Although some crops in certain regions of the world can benefit, the impacts of climate change are generally expected to be negative for agriculture, threatening global food security that could reach 9 billion people by 2050.

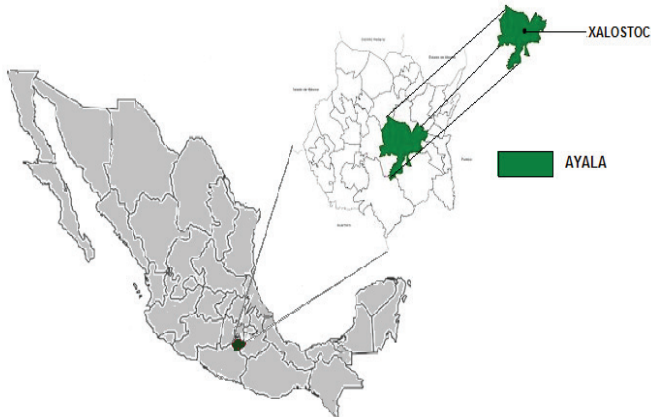
Therefore the actions to be taken in response to the climate change situation in the world are the transfer of technology mainly in irrigation systems, the validation of hybrids and varieties that adapt to the conditions that are expected to be changing in the different regions and, together with the construction of infrastructure in rural communities, are essential factors for small farmers to make more efficient use of available water and to increase yields to meet the feeding needs of both humans and animals. Therefore, this research aimed to evaluate the agronomic behavior of six hybrids recommended for the eastern region of Morelos cultivated in a drip irrigation system and fertirrigation technique.

## Material and methods

The study was carried out during the 2014 winter-spring cycle in the experimental field of the School of Higher Studies of Xalostoc of the Autonomous University of the State of Morelos, located in the Ejido de Xalostoc, municipality of Ayala Morelos, geographically located in the coordinates 18° 44' 36.30" north latitude and 98° 54' 31.88" west longitude with respect to the Greenwich meridian, with a height of 1 294 masl (Google Earth, 2015) (Figure 1).

The predominant climate is warm, low humidity, rainfall ranging between 720 and 820 mm and has an average annual temperature of 24 °C, the wind has a direction

municipio de Ayala Morelos, localizado geográficamente en las coordenadas 18° 44' 36.30" latitud norte y 98° 54' 31.88" longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich, con una altura de 1 294 msnm (Google Earth, 2015) (Figura 1).



**Figura 1. Ubicación del experimento.**  
**Figure 1. Location of the experiment.**

El clima que predomina es el cálido, de humedad baja, precipitaciones que oscilan entre 720 y 820 mm y tiene una temperatura media anual de 24 °C, el viento tiene una dirección de noreste a suroeste (INAFED, 2012). La preparación del terreno consistió en un barbecho, rastreo y surcado con tracción mecánica. Se surca a una distancia de 1 metro. La instalación del sistema de riego se realizó una vez que se terminó de preparar el suelo. Se procedió a colocar las líneas secundarias de tubería de PVC, se perforo el tubo con broca de 5/8, se colocaron empaques, conectores iniciales, tubo ciego, conectores rápidos y la cintilla, posteriormente se procedió a probar el sistema para observar su adecuado funcionamiento. Posteriormente, se procedió a colocar estacas al final del surco y los tapones finales a las cintillas para después amarrarlos y evitar que se movieran por efecto de la temperatura y el viento. La selección de los híbridos a evaluar en fertirrigación se hizo por la dotación de semilla por el INIFAP- Zacatepec (Cuadro 1).

La siembra se realizó a una distancia de 30 cm entre plantas, depositando dos semillas por mata, teniendo una densidad de 66 666 plantas por hectárea. Para el control de malezas presentes se aplicó Glifosato a razón de 2.5 l de i.a. ha<sup>-1</sup> y para las malezas que pudieran ocasionar un problema al cultivo se aplicó Gesaprim calibre 90 en preemergencia a razón de 2.5 kg de i.a. ha<sup>-1</sup>. Posteriormente para controlar malezas en forma postemergente se aplicó 2-4-D amina a razón de 1.5 l de i.a. ha<sup>-1</sup>. La aplicación de agua se realizó mediante el sistema de riego por goteo. Para calcular la cantidad de agua

from northeast to southwest (INAFED, 2012). The ground preparation consisted of fallow, crawling and furrowed with mechanical traction. Furrows were at a distance of 1 meter. The installation of the irrigation system was done once the soil was finished. The secondary lines of PVC pipe were drilled, the pipe was drilled with a 5/8 drill bit, gaskets, initial connectors, blind tube, quick connectors and strap were placed, and the system was then tested to observe its adequate functioning. Later, stakes were placed at the end of the groove and the final plugs at the belts to then tie them and prevent them from moving due to temperature and wind. The selection of hybrids to be evaluated in fertirrigation was done by the seed supply by INIFAP-Zacatepec (Table 1).

**Cuadro 1. Material vegetativo evaluado en fertirrigación ciclo invierno-primavera 2014, Campo experimental Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc de la UAE-MOR.**

**Table 1. Vegetative material evaluated in fertirrigation 2014 winter-spring cycle, Experimental field School of Higher Studies of Xalostoc of UAE-MOR.**

Núm.	Híbrido	Color	Origen
1	H-515	Blanco	INIFAP Zacatepec
2	H-382	Blanco	INIFAP Zacatepec
3	H-374C	Amarillo	INIFAP Zacatepec
4	H-377	Blanco	INIFAP Zacatepec
5	H-443	Amarillo	INIFAP Zacatepec
6	H-516	Blanco	INIFAP Zacatepec

Seeding was carried out at a distance of 30 cm between plants, depositing two seeds per bush, having a density of 66 666 plants per hectare. For weed control, glyphosate was applied at a rate of 2.5 l of i.a. ha<sup>-1</sup> and for weeds that could cause a problem to the crop was applied Gesaprim caliber 90 in preemergence at the rate of 2.5 kg of i.a. ha. Subsequently, to control weeds postemergently, 2-4-D amine was applied at a rate of 1.5 l of i.a. ha<sup>-1</sup>. The application of water was done through the drip irrigation system. To calculate the amount of water that was used, the indirect method was used considering the average monthly evaporation and the crop phenology, using the following formula:

$$ETC = K_c * E_{To} = L_r = \frac{EV * K_c * K_p}{E_a}$$

que se utilizó se empleó el método indirecto considerando la evaporación media mensual y la fenología del cultivo, empleando la siguiente fórmula:

$$ETC = K_c * E_{To} = L_r = \frac{EV * K_c * K_p}{E_a}$$

Donde: ETC= evapotranspiración máxima mensual, mm; ETo= evapotranspiración del cultivo de referencia, mm; EV= evaporación en mm; Lr= lámina de riego en mm; Kc= coeficiente de ajuste en función del desarrollo vegetativo del cultivo; mediante la curva única de Hansen, adimensional; Kp= coeficiente del tanque evaporímetro tipo "A" (0.75) (Doorembos y Pruitt, 1977); Ea= eficiencia de aplicación del sistema de riego, adimensional.

La fertilización se realizó con la fórmula general 140-160-180, aplicándose el fertilizante al momento de regar de acuerdo con las etapas fenológicas del cultivo. Empleando fertilizantes solubles. Inicial 15-30-15, desarrollo 18-6-18, crecimiento 25-10-10, producción 13-6-40. Se presentó gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), pero el daño no fue significativo por lo que se determinó no aplicar ningún insecticida. El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completos al azar con seis tratamientos y tres repeticiones. La parcela experimental consistió de 20 m<sup>2</sup> con cuatro surcos de cinco metros de largo. Se midieron variables en planta como en mazorca empleando los descriptores para maíz del CIMMYT (IBPGR, 1991). Las variables fueron: hojas arriba de la mazorca. Se contaron 10 plantas por entrada, después del estado lechoso cuando se alcanzó la madurez fisiológica. Hojas totales. Se contaron en 10 plantas después de la floración tanto masculina como femenina. Diámetro de mazorca (mm). Se midieron diez mazorcas con vernier electrónico en el centro de la mazorca. Número de hileras. Se contaron el número total de hileras en 10 mazorcas en la parte central. Peso de mazorcas (g). Se pesaron 10 mazorcas con balanza electrónica marca Torrey modelo SX-B30.

Rendimiento. Para calcular el rendimiento de grano se empleó la fórmula de Combe y Picard (1994).

$$R = (NP \text{ ha}^{-1}) * (NPP^{-1}) * (NG \text{ M}^{-1}) * (P1 \text{ g}).$$

Donde: R=rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>; NPha<sup>-1</sup>= número de plantas ha<sup>-1</sup>; NPP<sup>-1</sup>= número de mazorcas por planta; NG M<sup>-1</sup>= número de granos por mazorca; P1g= peso específico de un grano.

Where: ETC= maximum monthly evapotranspiration, mm; ETo= evapotranspiration of the reference crop, mm; EV= evaporation in mm; Lr = irrigation sheet in mm; Kc= coefficient of adjustment in function of the vegetative development of the crop; using the unique Hansen curve, dimensionless; Kp= coefficient of the "A" evaporimeter tank (0.75) (Doorembos and Pruitt, 1977); Ea = application efficiency of the irrigation system, dimensionless.

The fertilization was carried out with the general formula 140-160-180, applying the fertilizer at the time of irrigation according to the phenological stages of the crop. Employing soluble fertilizers. Initial 15-30-15, development 18-6-18, growth 25-10-10, production 13-6-40. The spiderworm (*Spodoptera frugiperda*) was present, but there was not significant damage and no insecticide was applied. The experimental design used was randomized complete blocks with six treatments and three replicates. The experimental plot consisted of 20 m<sup>2</sup> with four furrows of five meters long. Plant and cob variables were measured using the descriptors for corn of CIMMYT (IBPGR, 1991). The variables were: leaves above the cob. Ten plants were counted per entry, after the milky state when physiological maturity was reached. Total sheets. They were counted on 10 plants after both male and female flowering. Cob diameter (mm). Ten cobs were measured with electronic vernier in the center of the cob. Number of rows. The total number of rows was counted in 10 cobs in the central part. Cob weight (g). Ten cobs were weighed with using Torrey electronic scale SX-B30 model.

Performance. In order to calculate grain yield, the formula of Combe and Picard (1994) was used.

$$R = (NP \text{ ha}^{-1}) * (NPP^{-1}) * (NG \text{ M}^{-1}) * (P1 \text{ g}).$$

Where: R= yield in kg ha<sup>-1</sup>; NP ha<sup>-1</sup>= number of plants ha<sup>-1</sup>; NPP<sup>-1</sup>= number of cobs per plant; NG M<sup>-1</sup>= number of grains per cob; P1g= specific weight of a grain.

Harvesting was done manually by harvesting the two central furrows of each experiment and then stripped when the grain had an approximate humidity of 14%. Regarding the Analysis of data, analysis of variance for the six variables was calculated. The comparison of means between treatments was carried out with the Tukey test at 5% of significance. Statistical Analysis System (SAS) version 9.4 was used for statistical and correlation analysis.

La cosecha se realizó en forma manual cosechándose los dos surcos centrales de cada experimento y posteriormente se desgranaron cuando el grano tenía una humedad aproximada de 14%. El Análisis de datos se calcularon análisis de varianza para las seis variables. La comparación de medias entre los tratamientos se efectuó con la prueba de Tukey al 5% de significancia. Para el análisis estadístico y de correlación se empleó el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4.

## Resultados y discusión

Los resultados del análisis de varianza ( $p \leq 0.05$ ) para las variables evaluadas se presentan en el Cuadro 2; se muestra que hubo diferencias significativas para todas las variables. El híbrido que mayor número de hojas arriba de la mazorca presento fue el H-377 con un promedio de 6.4 y el que menor número de hojas arriba de la mazorca fue el H-515 con un promedio de 5.4, los demás oscilaron en un rango de 5.6 y 6.1.

**Cuadro 2. Valores promedio de las características de híbridos evaluados en fertirrigación en Xalostoc.**  
**Table 2. Average values of the evaluated hybrids characteristics in fertirrigation in Xalostoc.**

Genotipo	HARMZ	HT	PM	DM (mm)	NHI	RG (kg ha <sup>-1</sup> )
H-515B	5.46	12.33	178.66	45.8	13.86	7350
H-382B	6.16	12.76	201.33	51.04	17.8	6250
H374CA	6	12.76	142.55	43.77	14.73	3643.3
H377B	6.46	13.66	206.88	49.9	15.46	7613.3
H-443A	5.63	12.3	147.49	42.37	14.4	5556.7
H516B	6.13	13.23	171.28	45.81	14.8	6766.7
Promedio	489	12.84	174.69	46.44	15.17	6196.6
CV (%)	4.5	4.1	2.3	8.9	2.9	21.9

HRMZ= hojas arriba de la mazorca; HT= hojas totales; PM= peso de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NHI= número de hileras; RG= rendimiento de grano.

Lo anterior, indica que a pesar que son materiales mejorados y tienen una base genética más homogénea responden de manera diferente al manejo, niveles de fertilización, riego, control de malezas, plagas, enfermedades y condiciones ambientales, motivo por el cual hay que evaluar en ambientes diferentes al lugar de origen para que los productores dispongan de información confiable para determinar que material vegetativo adquirir y establecerlos en sus parcelas.

El coeficiente de variabilidad (CV), usado como una medida de precisión en la conducción de experimentos (Wong *et al.*, 2007) para el peso de grano fue 21.9%, considerado como

## Results and discussion

The results obtained from the analysis of variance at ( $p \leq 0.05$ ) probability for the evaluated variables are shown in Table 2, which shows that there were significant statistical differences for all variables. The hybrid with the highest number of leaves above the cob was the H-377 with an average of 6.4 and the lowest number of leaves above the cob was the H-515 with an average of 5.4, the others oscillated in a range of 5.6 and 6.1.

This indicates that although they are improved materials and have a more homogeneous genetic base, they respond differently to management, levels of fertilization, irrigation, weed control, pests, diseases and environmental conditions for which they have to be evaluated in environments different from the origin place so that the producers have reliable information to determine which vegetative material to acquire and to establish them in their culture plots.

The coefficient of variability (CV), used as a measure of precision in conducting experiments (Wong *et al.*, 2007) for grain weight was 21.9%, considered as acceptable. The CV of the other characteristics fluctuated between 2.3 and 8.9%, so the data management is considered adequate and homogeneous.

These results indicate that one of the characteristics of agronomic importance is the number of leaves that the corn plant can develop since they are the ones that provide photosynthesis necessary for the physiological activity of the plants, so that the leaves above the cob are more

aceptable. Los CV de las demás características fluctuaron entre 2.3 y 8.9%, por lo que el manejo de los datos se consideran como adecuados y homogéneos.

Estos resultados indican que una de las características de importancia agronómica es el número de hojas que la planta de maíz pueda desarrollar ya que son las que proveen de fotosintatos necesarios para la actividad fisiológica de las plantas, por lo que las hojas arriba de la mazorca y de la mazorca son más importantes que el número de hojas abajo de la mazorca debido a que son las que se encargan de captar mayor radiación solar y como consecuencia influyen de manera directa en el tamaño del grano e incremento en el rendimiento puesto que son las hojas más jóvenes de la planta y son las que presentan la mayor tasa fotosintética. Estos resultados coinciden con lo reportado por Fischer *et al.* (1987), quienes encontraron que en poblaciones tropicales de maíz el número de hojas y mayor área foliar arriba de la mazorca resultó en un significativo incremento en el rendimiento de grano. Por su parte, Lambert (2010) considera que las hojas son el sitio en que se realiza la fotosíntesis y constituyen un factor que contribuye a la producción de biomasa y la producción de grano.

Las hojas arriba de la mazorca y la misma hoja de la mazorca son las más jóvenes en la planta, por lo que tienen las tasas fotosintéticas mayores y se mantienen por más tiempo (Thiagarajah *et al.*, 1981), así mismo, las hojas arriba de la mazorca son las que aportan en mayor proporción los fotoasimilados a la mazorca durante el llenado de grano (Tollenaar, 1977), en cambio las hojas por debajo de la mazorca ya no aportan gran cantidad de fotoasimilados ya que se encuentran en el área sombreada, además de la senescencia que presentan dado que son las primeras hojas que aparecen (Dwyer y Stewart, 1986).

En cuanto a la variable cantidad de hojas totales los resultados del análisis de varianza al ( $p \leq 0.05$ ) detecto diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, el híbrido con mayor cantidad de hojas fue el H-377 con 13.6 y el de menor cantidad de hojas fue el H-443 con un promedio de 12.3 hojas, observando una reducción de entre 30 y 35% de hojas con respecto al comportamiento de los materiales en su lugar de origen (20 hojas). Esto probablemente se debe a que el lugar de donde provienen los materiales es una región con mayor temperatura lo cual influye para que la planta emita un mayor número de hojas al existir mayor radiación solar. A pesar de que, al final del ciclo productivo de la planta las hojas de la parte baja no son tan importantes debido a la senescencia y poca cantidad de fotoasimilados que aportan,

important than the number of leaves below the cob because they are responsible for capturing more solar radiation and as a consequence directly influence the size of the grain and increase in yield since they are the youngest leaves of the plant and are the ones with the highest photosynthetic rate. These results coincide with those reported by Fischer *et al.* (1987), who found that in tropical corn populations the number of leaves and greater leaf area above the cob resulted in a significant increase in grain yield. Lambert (2010) considers that leaves are the site of photosynthesis and constitute a factor that contributes to the biomass production and grain production.

The leaves above the cob and the cob leaves are the youngest in the plant, so they have the highest photosynthetic rates and are kept longer (Thiagarajah *et al.*, 1981), as well as the leaves above the cob are the ones that contribute in greater proportion the photoasimilates to the cob during the grain filling (Tollenaar, 1977), in contrast the leaves below the cob do not contribute great amount of photoasimilates since they are in the shaded area, in addition to the senescence that they show since they are the first leaves to appear (Dwyer and Stewart, 1986).

As for the total leaves number variable, the results of the analysis of variance at ( $p \leq 0.05$ ) detected significant differences among the evaluated treatments, the hybrid with the highest number of leaves was the H-377 with 13.6 and the one with the least amount of leaves was the H-443 with an average of 12.3 leaves, showing a reduction of 30 and 35% of leaves regarding to the behavior of the materials in their place of origin (20 leaves). This is probably due to the fact that the place where the materials come from is a region with a higher temperature which influences the plant to emit a larger number of leaves when there is more solar radiation. Although at the end of the productive cycle of the plant the leaves of the lower part are not so important due to the senescence and little amount of photo-assimilates that they contribute, if they grow before the time of formation of male and female flowers which are the ones that provide the greatest amount of photosynthesis for growth and development. The total of leaves that the plant forms during its productive life influences considerably the pollination, a better grain filling, and therefore into a greater yield.

These results coincide with those reported by Ospina *et al.* (2012) who recorded an average of 12 to 14 leaves in hybrids evaluations and considered that temperature is the factor that influences the most in the amount of total leaves

si lo son antes de la época de formación de flores masculinas y femeninas puesto que, son las que aportan la mayor cantidad de fotosíntesis para el crecimiento y desarrollo. El total de hojas que la planta forma durante su vida productiva influye considerablemente en la polinización, en un mejor llenado de grano, traduciéndose en un mayor rendimiento.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Ospina *et al.* (2012) quienes registraron una media de 12 a 14 hojas en evaluaciones de híbridos y consideran que la temperatura es el factor que más influye sobre la cantidad de hojas totales producidas por la planta, mientras que otros factores como la falta de agua o de nutrientes, afecta en menor medida ésta característica. Mientras que el INTA (2006) menciona que la producción de granos de un cultivo dependerá de la capacidad del mismo en crecer (producir biomasa) y proporcionar esa biomasa a los granos. Para ello debe desarrollar su aparato foliar e interceptar el máximo posible de radiación y alcanzar la máxima tasa de crecimiento unas semanas antes de floración; además el aparato fotosintético debe prolongar su actividad para asegurar un buen llenado de los granos (senescencia tardía de las hojas) debiendo generar adecuadamente las estructuras reproductivas.

Para la variable diámetro de mazorca los resultados del análisis de varianza muestran que existieron diferencias estadísticas significativas al ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. El híbrido que mejor comportamiento tuvo en esta variable fue el H-382 con un diámetro de mazorca en promedio de 51.03 mm y el que presentó un menor diámetro de mazorcas fue el H-443A con un promedio de 42.38 mm. Este comportamiento probablemente se debe al efecto resultante de la aplicación del fertilizante de acuerdo con las etapas fenológicas de las plantas, distancia entre hileras, distancia entre plantas y densidad de siembra, ya que cuando se tuvo una sola planta por mata se tuvieron mazorcas de mayor longitud y diámetro, así como a las diferencias genotípicas entre los materiales evaluados. Así mismo, se considera que la producción de maíz realizada bajo condiciones de riego proporciona la cantidad adecuada de agua en el momento de la floración masculina y femenina y debido a ello existe una mayor polinización y fecundación de los óvulos de la mazorca, influyendo en el diámetro de la mazorca y este a su vez en el peso del grano de mazorca.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Otahola y Rodríguez (2001) quienes encontraron que el mayor diámetro de mazorcas lo obtuvieron cuando sembraron las plantas a 0.90 m entre hileras. Mientras que Vásquez (1998)

produced by the plant, while other factors such as lack of water or nutrients, affects to a lesser extent this characteristic. While INTA (2006) mentions that the production of grains of a crop will depend on its ability to grow (produce biomass) and provide that biomass to the grains. In order to do this it must develop its foliar apparatus and intercept the maximum possible radiation and reach the maximum growth rate a few weeks before flowering; in addition the photosynthetic apparatus must prolong its activity to ensure a good grain filling (late leaves senescence) and must generate properly their reproductive structures.

For the cob diameter variable the results of the analysis of variance show that there were statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) among the evaluated treatments. The hybrid that had the best behavior in this variable was the H-382 with an average cob diameter of 51.03 mm and the one that presented a smaller cob diameter was the H-443A with an average of 42.38 mm. This behavior is probably due to the effect of the fertilizer application according to the phenological stages of the plants, distance between rows, distance between plants and density of planting, since when there was a single plant per bush, bigger cobs both in length and diameter were obtained, as well as genotypic differences among the evaluated materials. Also, it is considered that the corn production under irrigation conditions provides the adequate amount of water at the time of male and female flowering and because of this there is a greater pollination and fertilization of the cob ova, influencing the cob diameter in the weight of grains.

These results coincide with those reported by Otahola and Rodríguez (2001) who found that the greatest diameter of cobs were obtained when they sowed the plants at 0.90 m between rows. While Vásquez (1998) found that the largest diameter of the cob was obtained by planting the plants at a distance of 0.2 and 0.25 m. On the other hand, Chura and Tejada (2014) found a higher correlation between the cob diameter with the yield in yellow corn, since the greater cob diameter correspond to a greater number of grains per row and it results in a higher yield.

For the number of rows per cob variable the results of the analysis of variance indicated that there were statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) among the treatments evaluated. The largest number of rows was shown by the H-374C with an average of 17.8 rows and the lowest number of rows was shown by the H-515, the other evaluated materials fluctuated in a range of 14.4 and 15.4 rows. This



encontró que el mayor diámetro de la mazorca se obtuvo al sembrar las plantas a una distancia de 0.2 y 0.25 m entre plantas. Por su parte, Chura y Tejada (2014) encontraron una alta correlación entre el diámetro de las mazorcas con el rendimiento en maíces amarillos, ya que a mayor diámetro de las mazorcas se tiene mayor número de granos por hilera y da lugar a un mayor rendimiento.

Para la variable número de hileras por mazorca los resultados del análisis de varianza indicaron que existieron diferencias estadísticas significativas al ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. El mayor número de hileras lo presentó el H-374C con 17.8 hileras en promedio y el menor número de hileras lo tuvo el H-515, los demás materiales evaluados fluctuaron en un rango de 14.4 y 15.4 hileras. Este comportamiento posiblemente se debió al arreglo topológico de las plantas en el campo, al vigor de las plantas, laminas adecuadas de riego, control adecuado de plagas, malezas y niveles adecuados de fertilización de acuerdo con las etapas fenológicas de las plantas, además de que al sembrar a mayor distancia entre surcos y entre plantas se tiene un mejor aprovechamiento de la luz solar y la planta elabora mayor cantidad de elementos nutritivos traduciéndose en mazorcas de mayor longitud, diámetro y mayor número de hileras, siendo una de las características deseables en las mazorcas para incrementar el rendimiento, ya que existe una relación directa entre el número de hileras con la cantidad de grano por mazorca.

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Díaz *et al.* (2009) quienes reportaron hasta 15.5 hileras por mazorca para materiales híbridos. Por su parte, Cervantes *et al.* (2014) encontraron híbridos con un rango de 12.7 a 16.6 hileras en promedio por mazorca y que uno de los factores que influye en el número de hileras es el vigor inicial de las plantas.

Para la variable peso de mazorca los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias estadísticas significativas al ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. El mayor peso de mazorca lo tuvo el H-377 con 206.8 g y el menor peso lo presentó el H-374C con 142.5 g., debido a que las mazorcas son más pequeñas. Y probablemente los granos contengan mayor cantidad de harina. Los restantes materiales estuvieron en un rango de entre 201.3 y 147 gramos. Los resultados obtenidos muestran el efecto que tiene el medio ambiente, el riego, la fertilización por etapas fenológicas, el control de plagas, malezas, altas temperaturas que favorecen una elevada fotosíntesis, los nutrientes, la densidad de siembra y la tasa de crecimiento sobre este componente del rendimiento.

behavior was probably due to the topological arrangement of the plants in the field, the vigor of the plants, adequate irrigation sheets, adequate pest control, weeds and adequate levels of fertilization according to the phenological stages of the plants, besides planting more distance between furrows and between plants has a better use of sunlight and the plant produces more nutrients, resulting in longer cobs, with bigger diameter and greater number of rows, being one of the desirable characteristics in the cobs to increase crop yields, since there is a direct relationship between the number of rows and the amount of grain per cob.

These results coincide with what was found by Díaz *et al.* (2009) who reported up to 15.5 rows per cob for hybrid materials. On the other hand, Cervantes *et al.* (2014) found hybrids with a range of 12.7 to 16.6 rows in average per cob and that one of the factors that influences the number of rows is the initial vigor of the plants.

For the cob weight variable, the results of the analysis of variance showed statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) among the treatments evaluated. The largest weight of cob was shown by the H-377 with 206.8 g and the lower weight was presented by the H-374C with 142.5 g, because the cobs were smaller. And probably the grains contain more flour. The remaining materials were in the range of 201.3 to 147 grams. The obtained results show the effect of the environment, irrigation, fertilization by phenological stages, pest control, weeds, high temperatures favoring high photosynthesis, nutrients, planting density and growth rate on this yield component.

This indicates that when the production factors are handled properly, mainly the quantity of water and nutrients at the time of the pollination and formation of the grain bigger cobs are obtained, with greater weight and heavier grains, which influences notably in the yield. Similar results were reported by Faiguenbaum (1997) who found that in a well-managed and harvested crop with optimum maturity an average weight of cobs of between 380 and 400 g can be achieved. Luchsinger and Camilo (2008) found that the weight of cobs is strongly related to the influence of the environment, planting density, plant height, planting season and number of cobs per hectare, obtaining individual weights of cob ranging between 274 and 391 g.

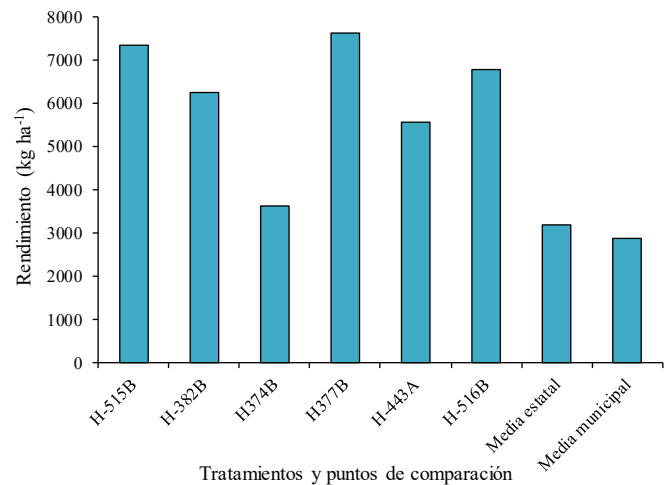
As for the results of the analysis of variance, it shows that there were statistically significant differences between the yield of the evaluated hybrids. By comparison of

Esto indica que cuando se manejan adecuadamente los factores de la producción, principalmente la cantidad de agua y nutrientes en el momento de la polinización y formación del grano se obtienen mazorcas más grandes, con mayor peso y granos más pesados, lo cual influye notablemente en el rendimiento. Resultados similares fueron reportados por Faiguenbaum (1997) quien encontró que en un cultivo bien manejado y cosechado con madurez óptima se puede alcanzar un peso promedio de mazorcas de entre 380 a 400 g. por su parte Luchsinger y Camilo (2008) encontraron que el peso de mazorcas está fuertemente relacionado con la influencia del medio ambiente, la densidad de siembra, altura de planta, época de siembra y con número de mazorcas por hectárea, obteniendo pesos individuales de mazorca entre 274 y 391 g.

En cuanto a los resultados del análisis de varianza muestran que existieron diferencias estadísticas variable rendimiento los significativas entre los híbridos evaluados. Mediante la comparación de medias (Tuckey 0.5) de probabilidad se encontró que el mejor material en cuanto a rendimiento de grano fue el tratamiento cuatro (H377B) con 7 613.3 kg ha<sup>-1</sup> seguido del tratamiento uno (H-515B), con 7 350 kg ha<sup>-1</sup> y el que menor rendimiento presentó fue el tratamiento tres con 3 643.3 kg ha<sup>-1</sup>, muy por debajo de la media estatal para maíz; sin embargo, 83% de los tratamientos (híbridos: H377B, H-515B, H516B, H-382B y H-443a) supero el promedio estatal para maíz de riego de 3.5 t ha<sup>-1</sup> (CONAGUA, 2014), tal como puede apreciarse en la Figura 2.

Estos resultados probablemente se deben a que el maíz responde a niveles óptimos de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio de acuerdo con las etapas fenológicas de las plantas, laminas adecuadas de riego principalmente en la etapa de formación de la inflorescencia masculina, femenina y al momento de la polinización, altos índices de luminosidad para la elaboración de fotoasimilados, así como el efecto que tiene el medio ambiente en el crecimiento de las plantas. Resultados similares fueron encontrados por Cirilo y Andrade (1996) quienes consideran que en general el peso de los granos puede representar cerca de la mitad del total de las partes aéreas de la planta (índice de cosecha), así como la relación que existe entre el crecimiento de las plantas en floración temprana y el período de llenado del grano debido a la asimilación intensa de nitrógeno. Mientras que Salazar y Martínez *et al.* (2009) encontraron que el peso del grano de maíz está influenciado 80% por el medio ambiente.

means (Tuckey 0.5) of probability it was found that the best material in terms of grain yield was treatment four (H377B) with 7 613.3 kg ha<sup>-1</sup> followed by treatment one (H-515B), with 7 350 kg ha<sup>-1</sup> and the lowest yield was treatment 3 with 3 643.3 kg ha<sup>-1</sup>, far below the state average for corn; however, 83% of the treatments (hybrids: H377B, H-515B, H516B, H-382B and H-443a) exceeded the state average for irrigation corn of 3.5 t ha<sup>-1</sup> (CONAGUA, 2014) as shown in Figure 2.



**Figura 2. Rendimientos de grano obtenidos en los genotipos de maíz.** Generada de resultados de investigación e información de CONAGUA (2014).

**Figure 2. Grain yields obtained in corn genotypes.** Generated from research and information from CONAGUA (2014).

These results are probably due to the fact that corn responds to optimal levels of fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium according to the phenological stages of the plants, suitable irrigation sheets mainly in the formation of the male and female inflorescence stage and at the pollination moment, high luminosity indexes for the elaboration of photo-assimilates, as well as the effect that the environment has on the plants growth. Similar results were found by Cirilo and Andrade (1996) who consider that in general the grains weight can represent about half of the total aerial parts of the plant (crop index), as well as the relation that exists between the growth of early flowering plants and the period of grain filling due to the intense assimilation of nitrogen. While Salazar and Martínez *et al.* (2009) found that the weight of corn grain is 80% influenced by the environment.

Los resultados del análisis de correlación (Cuadro 3) al que fueron sometidas las variables de estudio se observó que existió una fuerte correlación entre hojas arriba de la mazorca con número total de hojas (63%), se encontró una correlación moderada con diámetro de mazorca (22%) y con número de hileras por mazorca (22%), esto es importante ya que estas características influyen de manera directa en los rendimientos de grano al ser las hojas las que proporcionan la mayor cantidad de nutrientes. La variable de número total de hojas existió una fuerte correlación con hojas arriba de la mazorca (63%) ya que se está midiendo el mismo carácter y una moderada correlación con rendimiento de grano (25%) puesto que las hojas son un factor que incide en el rendimiento pero que están presentes otros factores como la fertilización y la cantidad de agua disponible para lograr un mayor rendimiento.

En cuanto a la variable diámetro de mazorca existió una muy fuerte correlación con la variable peso de mazorca (85%) son variables que se encuentran relacionadas directamente ya que al existir mayor diámetro de mazorca se tiene mayor peso de mazorca, así como una fuerte correlación con número de hileras (56%) y una moderadamente fuerte correlación con rendimiento de grano (34%). En cuanto a la variable rendimiento de grano se encontró una moderadamente fuerte correlación con el peso de mazorca (46% y con el diámetro de mazorca (34%).

### Conclusiones

Se estudiaron cuatro genotipos de maíz blanco y dos genotipos de maíz amarillo, de los cuales los híbridos que alcanzaron mayor rendimiento y adaptación en esta región de estudio, fueron los de color blanco superando los rendimientos medios a nivel estatal y regional.

El híbrido 377B fue el genotipo que mayor adaptación y respuesta presentó en cuanto a rendimiento promedio en esta región, superando 52% al rendimiento medio estatal de maíz grano.

Por otro lado, el híbrido 443A de grano color amarillo, presentó un buen comportamiento en cuanto a rendimiento y puede ser una opción para los productores de la región, toda vez que se asegure el mercado.

The results of the correlation analysis (Table 3) to which the study variables were subjected showed that there was a strong correlation between leaves above the cob with the total number of leaves (63%), a moderate correlation was also found with cob diameter (22%) and number of rows per cob (22%), this is important since these characteristics directly influence grain yields because leaves provide the highest amount of nutrients. As for the total number of leaves, there was a strong correlation with leaves above the cob (63%), since the same character is being measured and a moderate correlation with grain yield (25%), since the leaves are a factor that affects yield but other factors such as fertilization and the amount of water available to achieve a higher yield are also present.

**Cuadro 3. Coeficientes de correlación y nivel de significancia para cada par posibles de los caracteres evaluados en híbridos de maíz ciclo invierno-primavera 2014.**

**Table 3. Correlation coefficients and level of significance for each of the possible pairs of characters evaluated in 2014 winter-spring-cycle of corn hybrids.**

	NHT	DM	NHI	PM	RG
HARMZ	0.634**	0.229**	0.224**	0.138 ns	0.096 ns
NHT		0.087 ns	0.033 ns	0.1 ns	0.257**
DM			0.565**	0.855**	0.348**
NHI				0.323**	-0.016 ns
PM					0.465**

\*\*= significativo al 0.01 de probabilidad; ns= no significativo. HRMZ= hojas arriba de la mazorca; HT= hojas totales; PM= peso de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NHI= número de hileras; RG= rendimiento de grano.

As for the cob diameter variable there was a very strong correlation with the cob weight variable (85%) these are variables that are directly related since when a greater cob diameter exists there will be a greater cob weight, as well as a strong correlation with rows number (56%) and a moderately strong correlation with grain yield (34%). As for the grain yield variable a moderately strong correlation was found with the cob weight (46% and with cob diameter (34%).

## Literatura citada

- Altieri, A. M. A. y Nicholls, I. C. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *Rev. Agroecol.* 24(4):234-247.
- Cervantes, O. F.; Gasca, O. M. T.; Andrio, E. E.; Mendoza, E. M.; Guevara, A. L. P.; Vázquez, M. F. y Rodríguez, H. S. 2014. Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz. *Rev. Ciencia y Tecnol. Agrop.* 2(1):9-16.
- Cirilo, A. and Andrade, F. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Sci.* 36:325-331.
- Chura, Ch. J. and Tejada, S. J. 2014. Behavior of yellow corn hybrids in town of La Molina, Perú. *Idesia (Arica)*. 32(1):113-118.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2014. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2013-2014. Instituto mexicano de tecnología del Agua. <http://www.edistritos.com/DR/estadísticaAgricola/estado.php>.
- Díaz, C. G. T.; Sabando, A. F. A.; Zambrano, M. S. y Vásconez, M. G. H. 2009. Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de los Ríos. *Rev. Cienc. Tecnol.* 2(1):15-23.
- Dwyer, L. M. and Stewart, D. W. 1986. Effect of leaf age and position on net photosynthetic rates in maize (*Zea mays* L.). *Agric. Forest Meteorol.* 37:29-46.
- Faiguenbaum, H. 1997. Maíz dulce: etapa reproductiva, maduración y cosecha. *Agroeconómico.* 39(3):30-37.
- Fischer, K. S.; Edmeades, G. O. and Johnson, E. C. 1987. Recurrent selection for reduced tassel branch number and reduced leaf area density above the ear in tropical maize populations. *Crop Sci.* 27:1150-1156.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2012. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Secretaría de Gobernación. México D. F.
- INEGI. 2009. Anuario de estadísticas por entidad federativa 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Jones, J. W.; Hoogenboom, G.; Porter C. H.; Boote K. J.; Batchelor, W. D.; Hunt, L. A.; Wilkens, P. W.; Singh, U.; Gijssman, A. J. and Ritchie, J. T. 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* 154 p.
- IBPGR, 1991. Descriptors for maize. International maize and wheat improvement center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome. 54 pp.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2006. Productividad en agro-ecosistema de maíz en bosques seco tropical y seco montano alto en Colombia. Buenos Aires, Argentina. 129 pp.
- Lambert, R. J. 2010. Divergent selection for ear leaf area in maize. *Maydica.* 55:155-161.
- Landa, R.; Magaña, V. y Neri, C. 2008. Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. México, D. F. <http://es.scribd.com/doc/50280007/agua-y-clima-elementos-para-la-adaptacion-alcambio-climatico-9789688178874>.
- Luchsinger, L. A. y Camilo, F. F. 2008. Cultivares de maíz dulce y su comportamiento frente a distintas fechas de siembra en la vi región. *Rev. IDESIA.* 26(2):45-52.

## Conclusions

Four genotypes of white corn and two genotypes of yellow corn were studied, of which the hybrids that achieved the highest yield and adaptation in this studied region were those of white color, surpassing the average yields at both state and regional levels.

The 377B hybrid was the genotype that showed the greatest adaptation and response in terms of average yield in this region, exceeding 52% of the average yield of corn grain.

On the other hand, the hybrid 443A of yellow grain, showed a good behavior in terms of yield and may be an option for producers in the region, whenever the market is secured.

*End of the English version*



- Nelson, C. G.; Rosegrant, W. M.; Koo, J.; Robertson, R.; Sulser, T.; Zhu, T.; Ringler, C.; Msangi, S.; Palazzo, A.; Batka, M.; Magalhaes, M.; Santos, V. R.; Ewing, M. y Lee, D. 2009. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI Washington, D.C. 437 pp.
- Nelson, C. G.; Rosegrant, W. M.; Koo, J.; Robertson, R.; Sulser, T.; Zhu, T.; Ringler, C.; Msangi, S.; A.; Palazzo, M.; Batka, M.; Magalhaes, M. R.; Valmonte-Santos, M.; Ewing, P. y Lee D. 2009. Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI Washington, D. C. 753 pp.
- Ospina, J. M.; Vanegas, H. y Polania, F. 2012. Evaluación de la producción de biomasa de maíz en condiciones del trópico colombiano. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE. Colombia. 54 p.
- Otahola, G. V. y Rodríguez, S. 2001. Comportamiento agronómico de maíz (*Zea mays* L.) tipo dulce bajo diferentes densidades de siembra en condiciones de sabana. *Revista UDO Agrícola.* 1 (1):18-24.
- SAGARPA. 2014. Servicio de Información agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Anuario estadístico de la producción agrícola. <http://www.oedrus-morelos.gob.mx/>.
- Salazar-Martínez, J. A.; Guevara-Escobar, G.; Malda-Barrera, C.; Rivera-Figueroa, H. y Salinas-Moreno, Y. 2009. Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal. *Tecnociencia Chihuahua.* 3:74-83.
- Schneider, S.H. 2003. Imaginable surprise. *In:* Potter, T. D. y Colman, B. (Eds.). Handbook of weather, climate and water: atmospheric chemistry, hydrology, and societal impacts. New York, Wiley. 543 p.

- Thiagarajah M. R.; Hunt, L. A. and Mahon, J. D. 1981. Effects of position and age on leaf photosynthesis in corn (*Zea mays L.*). *Can. J. Bot.* 59:28-33.
- Tollenaar M. 1977. Sink-source relationships during reproductive development in maize: a review. *Maydica.* 22:49-75.
- Turrent A. F.; Wise A. T. y Garvey, E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. Global Development and Environment Institute of Tufts University. Paper núm. 12.
- Vásquez, F. 1998. Evaluación agronómica de dos cultivares de maíz (*Zea mays L.*) bajo diferentes densidades de siembra en condiciones agroecológicas de sabana. Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente, Jusepín, Monagas, Venezuela. 105 pp.
- Wong, R.; Gutiérrez del Río, E.; Palomo, A.; Rodríguez, S.; Córdova, H.; Espinoza, A. y Lozano, J. 2007. Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(2):181-189.