

## Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada\*

### Water relations in corn's High Valleys of Central Bureau of Mexico in drought conditions and nitrogen fertilization

Antonio Villalobos-González<sup>1</sup>§, Cándido López-Castañeda<sup>2</sup>, Salvador Miranda-Colín<sup>2</sup>, Víctor Heber Aguilar-Rincón<sup>2</sup> y Mónica Beatriz López-Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Edzná-INIFAP. Carretera Campeche-Pocuyaxum, km 15.5. Mpio. Campeche Campeche, México. C. P. 24520. Tel: 98 81 39748. Ext. 100. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados-Genética. Carretera México- Texcoco km 36.5 Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel: 01 595 9520200. Ext. 1587. (villalobos.antonio@inifap.gob.mx; clc@colpos.mx; smiranda@colpos.mx; aheber@colpos.mx; mobel@colpos.mx). §Autor para correspondencia: mobel@colpos.mx.

#### Resumen

El objetivo fue estudiar la respuesta de un grupo de maíces híbridos y criollos en las relaciones hídricas de la planta, el desarrollo del área foliar, la floración, el rendimiento de grano y sus componentes, en condiciones de riego, sequía y deficiencias de nitrógeno en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo en 2013. Los tratamientos fueron: S<sub>1</sub> sin riego 10 d (30-40 dds); S<sub>2</sub> sin riego 20 d (50-70 dds); S<sub>3</sub> sin riego 30 d (70-100 dds), con alto (AN, 160-40-20) y bajo N (BN, 80-40-20) aplicado en la siembra. La disminución del contenido hídrico edáfico (CHE) se reflejó en una reducción significativa ( $p \leq 0.05$ ) de los potenciales hídrico foliar ( $\psi$ ), osmótico ( $\pi$ ) y de turgencia ( $P$ ), y contenido relativo de agua (CRA) en S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub> con respecto a riego con AN y BN, al finalizar los tratamientos de sequía; los híbridos presentaron mayor  $\psi$ ,  $\pi$ ,  $P$  y CRA que los criollos. En todos los materiales evaluados el estrés hídrico redujo la expansión del área foliar (EAF), se retrasó la anthesis y floración femenina (IA-FF), disminuyó el rendimiento de grano (RG), número de granos mazorca<sup>-1</sup> (NGNM) y peso de 100 granos (P100G). En S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> los híbridos presentaron mayor EAF y produjeron mayor RG, NGNM, y presentaron un IA-FF más corto que los criollos con AN y BN. En R y S<sub>1</sub> con BN, y S<sub>2</sub> con AN y BN los híbridos presentaron mayor P100G. En S<sub>3</sub> no se produjo grano.

#### Abstract

The objective was to study the response of a group of hybrid and creoles corns in the water relations of the plant, the leaf area development, flowering, grain yield and its components under irrigation, drought and nitrogen deficiencies in a greenhouse of the Graduate College, Campus Montecillo in 2013. The treatments were: S<sub>1</sub> unirrigated 10 d (30-40 dds); S<sub>2</sub> unirrigated 20 d (50-70 dds); S<sub>3</sub> unirrigated 30 d (70-100 dds), with high (AN, 160-40-20) and low N (BN, 80-40-20) applied at planting. The decrease of the soil water content (CHE) was reflected in a significant reduction ( $p \leq 0.05$ ) of the leaf water potential ( $\psi$ ), osmotic ( $\pi$ ) and turgidity ( $P$ ) and relative water content (CRA) in S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> and S<sub>3</sub> with respect to irrigation AN and BN at the end drought treatments; hybrids showed higher  $\psi$ ,  $\pi$ ,  $P$  and CRA than the creoles. In all materials tested water stress reduced the expansion of leaf area (EAF), anthesis and silking was delayed (IA-FF), it decreased grain yield (RG), number of grains cob<sup>-1</sup> (NGNM) and weight of 100 grains (P100G). In S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub> hybrids showed higher EAF and produced more RG, NGNM, and had a shorter IA-FF than the creoles with AN and BN. In R and S<sub>1</sub>, with BN and S<sub>2</sub> with AN and BN hybrids they showed higher P100G. In the S<sub>3</sub> did not occur in grain.

**Keywords:** corn, creoles, hybrid, water stress, yield.

**Palabras clave:** criollos, híbridos, estrés hídrico, maíz, rendimiento.

## Introducción

El cultivo del maíz en condiciones de secano o temporal está expuesto a amplias variaciones en cantidad y distribución de la lluvia durante su crecimiento; estas variaciones en la disponibilidad de humedad frecuentemente causan estrés hídrico, que a su vez disminuye la acumulación de materia seca en los órganos aéreos de la planta, el desarrollo del área foliar y la formación de grano, factores que finalmente se reflejan en la pérdida de rendimiento. Cuando las deficiencias de humedad se presentan en diferentes periodos del ciclo del cultivo (sequía intermitente), la sequía puede causar estrés hídrico en las etapas de plántula y reducir el establecimiento del cultivo; en etapas fenológicas más avanzadas, el estrés puede afectar el desarrollo del área foliar y la fotosíntesis. Si la sequía ('sequía de medio verano' o 'canícula'), se presenta previo a la floración y/o en las etapas de floración y llenado del grano, el déficit hídrico reduce la producción de mazorcas y granos durante las dos semanas de la floración, debido a una disminución en la tasa de fotosíntesis durante el llenado del grano y una rápida inducción de la senescencia de las hojas; el rendimiento de grano también puede ser afectado por la competencia por foto-asimilados entre los órganos aéreos de la planta y las raíces como una respuesta de adaptación a la sequía (Bänziger *et al.*, 2012).

En general, la elongación de las hojas depende dinámicamente de la disponibilidad de agua en el suelo; y en el maíz no es la excepción. Con una disponibilidad adecuada de agua en el suelo, la elongación se mantiene constante, sin embargo, cuando el potencial hídrico del suelo disminuye, la elongación también se reduce. Los cambios en el *status* hídrico apuntan al papel directo que el agua tiene en el crecimiento; su absorción provee la fuerza física para el alargamiento de las células (Acevedo *et al.*, 1971).

Un fenómeno comúnmente observado bajo sequía impuesta en la floración es el alargamiento del intervalo antes-floración femenina (Bolaños y Edmeades, 1990). Esto ocurre usualmente por un retraso en la emergencia del jilote en relación a la emergencia de las anteras, esta última siendo menos afectada por la sequía. En este contexto, el intervalo

## Introduction

The maize cultivation in rainfed conditions is exposed to wide variations in quantity and distribution of rainfall during growth; these variations in moisture availability often cause water stress, which in turn decreases the accumulation of dry matter in the aerial organs of the plant, the leaf area development and pimple formation, factors that ultimately reflected in the loss of performance. When moisture deficiencies occur in different periods of the crop cycle (intermittent drought), drought can cause water stress in seedling stage and reduce crop establishment; in more advanced phenological stages, stress can affect the development of leaf area and photosynthesis. If the drought ('drought midsummer' or 'heat wave') is presented prior to flowering and/or stages of flowering and grain filling, the water deficit reduces the production of cobs and grains during the two weeks of flowering due to a decrease in the rate of photosynthesis during grain filling and rapid induction of leaf senescence; grain yield can also be affected by competition for photo-assimilated among the aerial organs of the plant and roots as an adaptive response to drought (Bänziger *et al.*, 2012).

In general, leaf elongation dynamically depends on the availability of water in the soil; and corn is no exception. With an adequate supply of water in the soil, elongation remains constant, however, when the soil water potential decreases, the elongation is also reduced. The changes in the water *status* point to direct role that water has on the growth; absorption provides physical strength to the elongation of the cells (Acevedo *et al.*, 1971).

A phenomenon commonly observed under drought imposed in bloom is lengthening female anthesis-flowering interval (Bolaños and Edmeades, 1990). This usually occurs by delay in the emergence of baby corn in relation to the emergence of the anthers, the latter being less affected by drought. In this context, the anthesis-flowering interval female is considered more valuable as diagnostic character behavior genotype date silking per se, because the anthesis-flowering interval female is quite independent of differences in physiological maturity between varieties (Edmeades *et al.*, 1989). The availability of nitrogen is one of the limiting factors of growth and yield in rainfed conditions; if plants experience stress by deficiencies of this element, the photosynthetic rate is reduced because the leaf area development is decreased and leaf senescence accelerates (Bänziger *et al.*, 2012).

antes-floración femenina es considerado más valioso como carácter de diagnóstico del comportamiento del genotipo que la fecha de floración femenina *per se*, debido a que el intervalo antes-floración femenina es bastante independiente de las diferencias en madurez fisiológica entre variedades (Edmeades *et al.*, 1989). La disponibilidad de nitrógeno constituye otro de los factores limitantes del crecimiento y rendimiento en condiciones de secano; si las plantas experimentan estrés por deficiencias de este elemento, se reduce la tasa fotosintética porque se disminuye el desarrollo del área foliar y se acelera la senescencia de las hojas (Bänziger *et al.*, 2012).

En maíz, un nivel bajo de nitrógeno reduce la capacidad de crecimiento del grano durante su etapa de llenado (Bänziger *et al.*, 2000). En condiciones de estrés hídrico y deficiencias de nitrógeno, en el mejoramiento genético podría, incluir características agronómicas relacionadas con la fenología, tasa fotosintética, acumulación de biomasa y partición de foto-asimilados a la mazorca (Bolaños y Edmeades, 1993). Por tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue estudiar la respuesta de híbridos y variedades criollas de maíz, con riego y sequía y dos niveles de fertilización con nitrógeno, en el desarrollo del área foliar, la floración, el rendimiento de grano y sus componentes, en condiciones de invernadero.

## Materiales y métodos

### Sitio experimental y material vegetal

El experimento se realizó en invernaderos del área de resistencia a sequía, del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México (19° 21' latitud norte, 98° 55' longitud oeste y 2 250 msnm). El invernadero empleado para este experimento tenía techo de material de plástico transparente. Se emplearon cuatro híbridos de maíz producidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), estos híbridos se caracterizan por estar desarrollados para áreas de secano de los Valles Altos de la Mesa Central de México y dos materiales criollos colectados en el municipio de Españita, Tlaxcala. El material genético del INIFAP, representa a los híbridos comerciales producidos entre los años de 1960 y 2000. Los híbridos liberados entre 1961 y 1973 se catalogan como híbridos antiguos y los liberados en 1999 como híbridos modernos (Cuadro 1).

In corn, a low level of nitrogen reduces the capacity of grain growth during filling stage (Bänziger *et al.*, 2000), in conditions of water stress and nitrogen deficiencies in breeding could, include agronomic characteristics related to phenology, photosynthetic rate, biomass accumulation and partitioning photo-assimilated into the cob (Bolaños and Edmeades, 1993). Therefore, the objective of this research was to study the response of hybrids and landraces of maize, irrigation and drought and two levels of nitrogen fertilization in leaf area development, flowering, grain yield and its components, under greenhouse conditions.

## Materials and methods

### Experimental site and plant material

The experiment was conducted in greenhouses in the area of drought resistance, the Postgraduate College in Montecillo, State of Mexico (19° 21' North latitude, 98° 55' west longitude and 2 250 masl). The gases used for this experiment had roof transparent plastic material. Four hybrid corn were used produced by the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), these hybrids are characterized by being developed for rainfed areas of the High Valleys of the Central Bureau of Mexico and two creoles materials collected in Españita, Tlaxcala. The genetic material of INIFAP, representing commercial hybrids produced between 1960 and 2000. Hybrids released between 1961 and 1973 are classified as old hybrids and released in 1999 as modern hybrids (Table 1).

### Cuadro 1. Híbridos y materiales criollos de maíz, evaluados en diferentes condiciones de sequía y fertilización nitrogenada.

**Table 1. Hybrids and landraces of maize, evaluated under different conditions of drought and nitrogen fertilization.**

Variedad	Año de liberación	Clasificación
H-28 <sup>†</sup>	1961	Antiguo
H-30 <sup>†</sup>	1973	Antiguo
H-48 <sup>¶</sup>	1999	Moderno
H-50 <sup>†</sup>	1999	Moderno
Colección-1 (Criollo blanco) <sup>§</sup>	2013	Criollo
Colección-2 (Criollo azul) <sup>§</sup>	2013	Criollo

<sup>†</sup>Híbrido de cruza doble, <sup>¶</sup>Híbrido trilineal; <sup>§</sup>Germoplasma recolectado en el Municipio de Españita, Tlaxcala, por el Dr. Cándido López-Castañeda, Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México en el ciclo otoño-invierno, 2013.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial 4 x 2, con dos repeticiones, correspondientes a cuatro tratamientos de humedad edáfica y dos niveles de fertilización para todos los materiales. Las semillas se sembraron en un tubo de PVC de 4" de diámetro y 1 m de largo, con una bolsa cilíndrica de plástico de las mismas dimensiones en su interior, conteniendo suelo esterilizado; el suelo utilizado fue de textura migajón-limoso (34% de arena, 56% de limo y 10% de arcilla) al que se le determinó su capacidad de campo (CC) de 33.9%, porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) de 21.1 % y densidad aparente de 1.08 g cm<sup>3</sup> (laboratorio de física de suelos, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México). La siembra se realizó el cinco de mayo de 2013, se emplearon semillas con un peso de 350±5 mg en cada unidad experimental. Se evaluaron cuatro tratamientos de humedad edáfica (HE): T1= riego (R) que consistió en mantener la HE cercana a capacidad de campo (CC) hasta la madurez; T2= sequía 1 (S<sub>1</sub>) sin R por 10 días (d) cuando las plantas tuvieron 30 d después de la siembra (dds); T3= sequía 2 (S<sub>2</sub>) sin R por 20 d cuando las plantas tenían 50 dds, y T4= sequía 3 (S<sub>3</sub>) sin R por 30 d para plantas con 70 dds; al finalizar los periodos de sequía se aplicó un riego de recuperación (RR) en cada tratamiento de deficiencias hídricas edáficas con la aplicación de riegos subsecuentes hasta la madurez. También se evaluaron tratamientos de fertilización nitrogenada que se aplicaron al momento de la siembra; dosis alta de nitrógeno (AN) con 160-40-20 y dosis baja (BN) con 80-40-20, como fuente de nitrógeno, fósforo y potasio se usaron: urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio, respectivamente. Para el control de pulgón y mosquita blanca se aplicó 1 L ha<sup>-1</sup> Engeo<sup>®</sup> a los 38 dds.

## VARIABLES CUANTIFICADAS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se midió el potencial hídrico foliar ( $\psi$ , bares) con la bomba de presión o Scholander en la porción media de hojas completamente expandidas y expuestas a la radiación solar, entre las 11:00 y 13:00 h a los 30, 35 y 40 dds en T2= S<sub>1</sub>; 50, 55, 60, 65 y 70 dds en T3= S<sub>2</sub>, y 70, 75, 80, 85, 90, 95 y 100 dds en T4= S<sub>3</sub> con AN y BN, y a los 41, 71 y 101 dds (un día después del RR) en todos los tratamientos.

El potencial osmótico ( $\pi$ , bares) se determinó en las muestras de hojas utilizadas para medir el  $\psi$  en todos los tratamientos de HE y N del suelo, y en las fechas antes indicadas; posteriormente estas muestras se colocaron en viales de

## Experimental design

The design randomized complete block design was used in 4 x 2 factorial arrangement, with two repetitions, corresponding to four treatments of soil moisture and two fertilization levels for all materials. The seeds were sown in a PVC tube 4" in diameter and 1 m long, with a cylindrical plastic bag of the same dimensions inside, containing sterilized soil; the soil used was crum-loam (34% sand, 56% silt and 10% clay) texture to which he determined its field capacity (CC) of 33.9%, a percentage permanent wilting (PMP) 21.1 % and bulk density of 1.08 g cm<sup>3</sup> (soil physics laboratory, graduate College, Montecillo, Texcoco, State of Mexico). The planting took place on May 5, 2013, seeds were used with a weight of 350±5 mg in each experimental unit. The four treatments of soil moisture (HE) were evaluated: T1= irrigation (R) was to maintain the HE near field capacity (CC) to maturity; T2= drought 1 (S<sub>1</sub>) without R for 10 days (d) when plants were 30 d after sowing (dds); T3= drought 2 (S<sub>2</sub>) without R for 20 d when the plants were 50 dds, and T4= drought 3 (S<sub>3</sub>) for 30 d without R for 70 dds plant; at the end of periods of drought irrigation Recovery (RR) was applied in each treatment of soil water deficiencies with the application of subsequent risks to maturity. The nitrogen fertilization treatments were applied at planting time were also evaluated; High doses of nitrogen (AN) with 160-40-20 and low dose (BN) with 80-40-20, as nitrogen source, phosphorus and potassium were used: urea, calcium triple superphosphate and potassium chloride, respectively. To control aphids and whiteflies was applied 1 L ha<sup>-1</sup> Engeo<sup>®</sup> at 38 dds.

## Quantified variables and statistical analysis

The leaf water potential ( $\psi$ , bar) pump pressure or Scholander in the middle portion of fully expanded and exposed to solar radiation leaves was measured, between 11:00 and 13:00 was 30, 35 and 40 dds T2= S<sub>1</sub>; 50, 55, 60, 65 and 70 dds in T3= S<sub>2</sub>, and 70, 75, 80, 85, 90, 95 and 100 dds in T4= S<sub>3</sub> with AN and BN, and 41, 71 and 101 dds (one day after RR) in all treatments.

The osmotic potential ( $\pi$ , bars) was determined in leaf samples used to measure  $\psi$  on all treatments of HE and N soil, and on the dates indicated above; subsequently these samples were placed in plastic vials and 5 mL were placed in a flask with N liquid (-195 °C) for two minutes, to break the cell wall and removing the sap; the  $\pi$  was measured with a Osmometer Wescor brand 5100C model in the laboratory (Barrios-Gómez *et al.*, 2011).

plástico de 5 mL y se depositaron en un termo con N líquido (-195 °C) durante dos minutos, para romper la pared celular y extraer la savia; el  $\pi$  se midió con un osmómetro marca Wescor, modelo 5100C en el laboratorio (Barrios-Gómez *et al.*, 2011).

El potencial de turgencia ( $P$ , bares) se calculó como la diferencia entre los potenciales  $\psi$  y  $\pi$  ( $p = \psi - \pi$ ), para cada muestra analizada (Begg y Turner, 1976). El contenido relativo de agua (CRA, %) se determinó en todas las plantas, al extraer 10 discos de 5 mm de diámetro de la misma porción de la hoja utilizada para medir el  $\psi$ ,  $\pi$  y  $p$ ; los discos se pesaron inmediatamente para obtener el peso fresco (Pf, mg) y se colocaron en cajas petri, para quedar suspendidas en agua destilada durante 10 horas bajo iluminación, para obtener el peso a saturación completa del tejido (Psat, mg) y posteriormente, el peso de materia seca (Ps, mg), al secar las muestras de los discos de hoja en una estufa a 70 °C durante 48 h, [CRA=(Pf-Ps)/(Psat-Ps)100].

La expansión del área foliar (EAF) por planta (EAF=L\*A\*0.75, cm<sup>2</sup>), se determinó al medir el incremento en el área de las hojas en elongación cada cinco días, en todos los tratamientos. El número de días a antesis o floración masculina (FM); se determinó cuando 50% de las espiguillas presentaban anteras en dehiscencia y expuestas fuera de las glumas. El número de días a floración femenina (FF); se determinó cuando la planta presentó el jilote o inflorescencia femenina con los estigmas expuestos. Se determinó también el rendimiento de grano por planta (RG, g) y sus componentes número de granos normales (GN) por mazorca y el peso (g) de 100 granos.

El contenido hídrico edáfico (CHE) se determinó al pesar los tubos tres veces por semana en todos los tratamientos de HE y N; en R se agregó la cantidad de agua perdida por transpiración entre fechas sucesivas de pesaje, manteniendo la humedad (H) cercana a CC hasta la madurez fisiológica (MF). Se aplicó RR en S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub> al finalizar los tratamientos de sequía, y se aplicaron riegos subsecuentes después del RR hasta la MF. La cantidad total de agua transpirada se calculó, al sumar las pérdidas de agua estimadas en cada tubo durante el experimento.

### Análisis estadístico

Se calculó el análisis de varianza para todas las variables con el programa SAS para Windows Versión 9.0 (SAS, 2002) en forma individual. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

The turgor potential ( $P$ , bars) was calculated as the difference between the potential  $\psi$  and  $\pi$  ( $p = \psi - \pi$ ), for each sample analyzed (Begg and Turner, 1976). The relative contented water (CRA,%) was determined in all plants, extracting 10 discs of 5 mm diameter of the same portion of the blade used to measure  $\psi$ ,  $\pi$  and  $p$ ; discs were weighed immediately to obtain fresh weight (Pf, mg) and placed in petri dishes to remain suspended in distilled water for 10 hours under illumination, for weight to complete saturation of the tissue (Psat, mg) and subsequently, the weight of dry matter (Ps, mg), to dry the samples leaf disk in an oven at 70 °C for 48 h, [CRA=(Pf-Ps)/(Psat-Ps)100].

The expansion of leaf area (EAF) per plant (EAF=L\*A\*0.75, cm<sup>2</sup>), was determined by measuring the increase in leaf area elongating every five days in all treatments. The number of days to anthesis or tasseling (FM); it was determined when 50% of anthers had dehiscence spikelets and exposed outside the glumes. The number of days to silking (FF); it determined when the plant presented the jilote or female inflorescence with exposed stigmas. The grain yield per plant (RG, g) was also determined and its components normal number of grains (GN) per cob and weight (g) of 100 grains.

The edaphic water content (CHE) was determined by weighing the tubes three times a week in all treatments HE and N; in R the amount of water lost through perspiration weighing between successive dates added, keeping moisture (H) ncob CC to physiological maturity (MF). The RR was applied in S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> and S<sub>3</sub> at the end of treatments drought and subsequent risks after RR were applied to MF. The total amount of water transpired was calculated by adding water losses estimated in each tube during the experiment.

### Statistical analysis

The analysis of variance for all variables using SAS for Windows version 9.0 (SAS, 2002) was calculated individually. The comparison of means was performed with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

## Results and discussion

### Soil water content

In the S<sub>1</sub> was suspended R between 30 and 40 dds and exploitable H decreased 75% without reaching the PMP (Figure 1a); in S<sub>2</sub> the R was suspended between 50 and

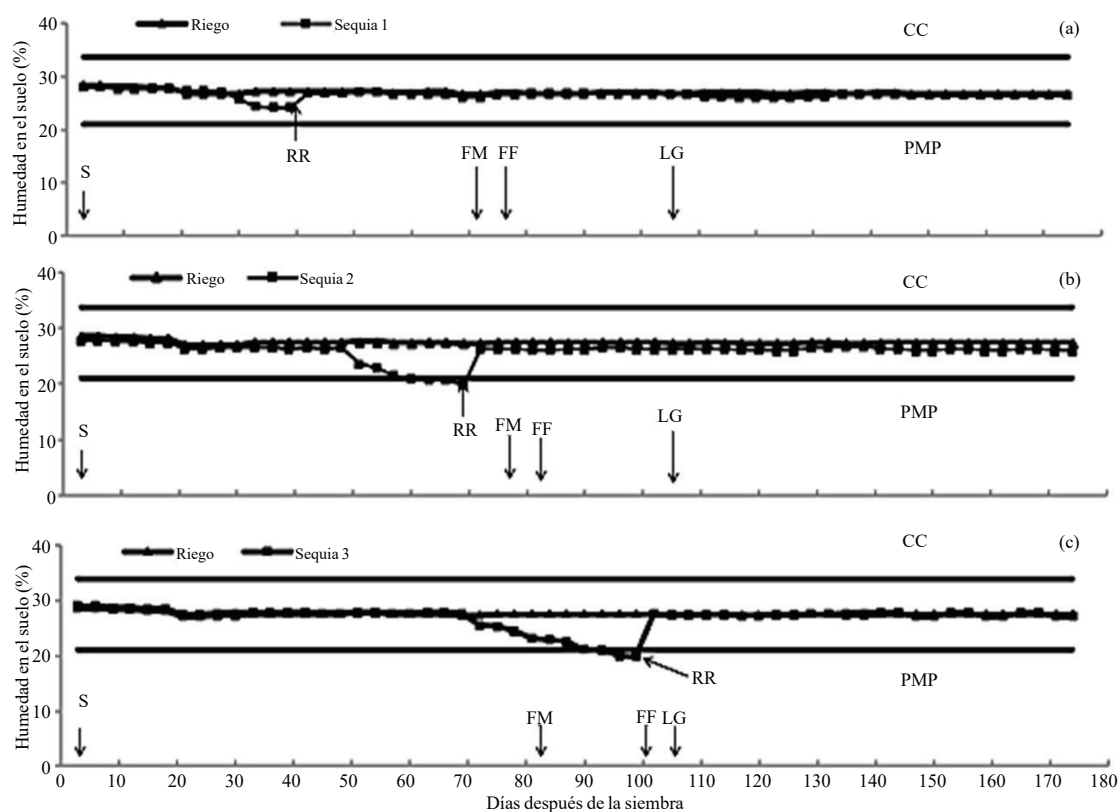
## Resultados y discusión

### Contenido hídrico del suelo

En  $S_1$  se suspendió el R entre los 30 y 40 dds y la H aprovechable disminuyó 75% sin alcanzar el PMP (Figura 1a); en  $S_2$  el R se suspendió entre los 50 y 70 dds y la H aprovechable descendió por debajo de PMP entre los 60 y 70 dds (Figura 1b), y en  $S_3$  se dejó de aplicar R entre los 70 y 100 dds y la humedad del suelo disminuyó por debajo del PMP entre los 88 y 100 dds (Figura 1c).

70 dds and exploitable and the H dropped below PMP between 60 and 70 dds (Figure 1b), and  $S_3$  are stopped applying R between 70 and 100 dds and humidity soil decreased below the PMP between 88 and 100 dds (Figure 1c).

The reduction in the CHE was reflected in a considerable decrease in leaf  $\psi$  in  $S_1$  ( $\psi < -12$  bars),  $S_2$  ( $\psi < -25$  bars) and  $S_3$  ( $\psi < -30$  bar) with AN and BN with respect to R ( $\psi > -5$  bars), with more negative values for  $\pi$  and lower levels for P and CRA, at the end of treatments soil water deficiencies. In  $S_2$  plants showed



**Figura 1. Contenido hídrico del suelo en riego y sequía 1 (a), riego y sequía; 2 (b) y riego y sequía 3 (c) en invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Estado de México. CC= capacidad de campo; PMP= porcentaje de marchitamiento permanente; S= siembra; FM= floración masculina; FF= floración femenina; LG= llenado de grano; RR= riego de recuperación.**

**Figure 1. Water content in the soil in irrigation and drought 1 (a), irrigation and drought; 2 (b) and irrigation and drought 3 (c) greenhouse, summer-autumn cycle 2013. Montecillo, State of Mexico. CC= field capacity; PMP= percentage permanent wilting; S= seed; FM= male flowering; FF= silking; LG= grain filling; RR= risk of recovery.**

La reducción en el CHE se reflejó en una disminución considerable en el foliar en  $S_1$  ( $\psi < -12$  bares),  $S_2$  ( $\psi < -25$  bares) y  $S_3$  ( $\psi < -30$  bares) con AN y BN con respecto a R ( $\psi > -5$  bares), con valores más negativos para el  $\pi$  y niveles más bajos para el P y el CRA, al finalizar los tratamientos de deficiencias hídricas edáficas. En  $S_2$  las plantas mostraron síntomas severos de marchitamiento, pero fueron más acentuados

severe symptoms of wilting, but were more pronounced in  $S_3$ , where drought coincided with the FM, FF and the beginning of grain filling. A study showed that bean soil water deficiencies during flowering, severely reduce the water content of the plant, significantly reducing seed yield, biomass, number of pods (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

en S<sub>3</sub>, donde la sequía coincidió con la FM, FF y el inicio del llenado del grano. Un estudio en frijol demostró que las deficiencias hídricas edáficas durante la floración, disminuyen severamente el contenido hídrico de la planta, reduciendo considerablemente el rendimiento de semilla, biomasa aérea, número de vainas (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

### Relaciones hídricas

Para el tratamiento de riego con los dos niveles de fertilización, se presentaron valores de  $\psi$ ,  $\pi$  y  $p$ , y CRA entre -1 a -5, -10 a -13 y 8 a 11 bares, y 78 a 83%, respectivamente y no presentaron diferencias significativas entre los maíces evaluados, los materiales no presentaron estrés hídrico en ninguna fecha de medición. En el ambiente de sequía (S<sub>1</sub>) con AN (Figuras 2a, b, c y d) y BN Figuras 2e, f, g y h), se tuvieron los siguientes rangos de variación:  $\psi$  (-3 a -16 bares),  $\pi$  (-14 a -19 bares) y  $p$  (2 a 12 bares), y CRA (50 a 80%).

### Water relations

For irrigation treatment with two levels of fertilization, values presented  $\psi$ ,  $\pi$  and  $p$ , and CRA between -1 to -5, -10 to -13 and 8 to 11 bars, and 78 to 83%, respectively and showed no significant differences between maize evaluated materials presented no water stress in any measurement date. In the environment of drought (S<sub>1</sub>) with AN (Figures 2a, b, c and d) and BN Figures 2e, f, g and h), the following ranges of variation were:  $\psi$  (-3 to -16 bars),  $\pi$  (-14 to -19 bars) and  $p$  (2 to 12 bars) and CRA (50 to 80%).

In S<sub>2</sub> the  $\psi$ ,  $\pi$  and  $p$ , and CRA with AN (Figures 3a, b, c) and BN (Figures 3e, f, g y h) ranged from -4 to -29, -12 to -20 to -8 bars 9, 20 to 85%, respectively.

For S<sub>3</sub> with AN (Figure 4a, b, c and d) and BN (Figures 4e, f, g and h), the variation ranges were:  $\psi$  (-6 to -30 bars),  $\pi$  (-12 to -24) and  $p$  (6 -5 bars), CRA and 18 to 85%. For all

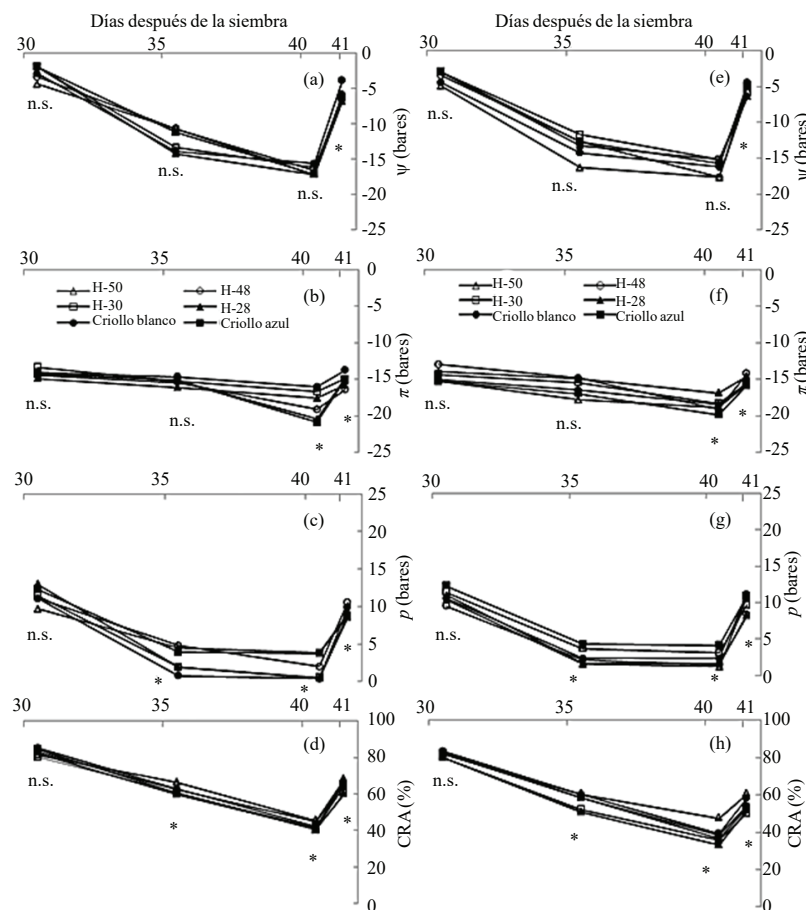
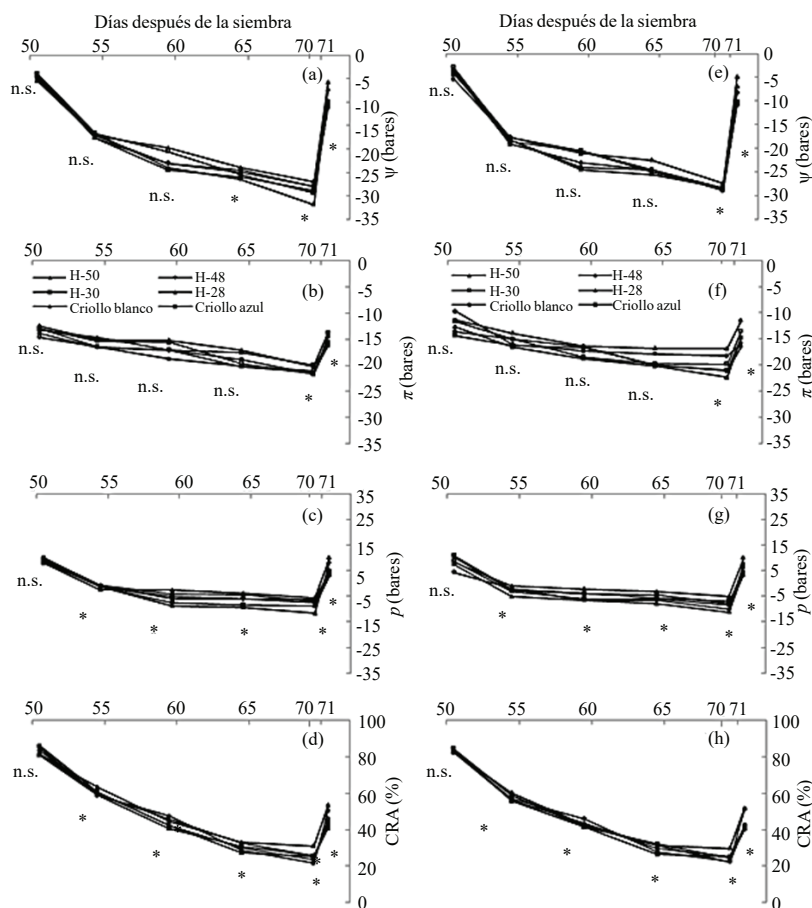


Figura 2. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d and h) en sequía 1 con dosis alta (a, b, c, y d) y baja de nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Estado de México. [\* ( $p \leq 0.05$ ); ns= no significativo].

Figure 2. Water potential (a and e), osmotic (b and f) and turgidity (c and g) and relative water content (d and h) in dry 1 with high dose (a, b, c, d) and low nitrogen (e, f, g and h) under greenhouse, summer-autumn cycle 2013. Montecillo, State of Mexico. [\* ( $p \leq 0.05$ ); ns= not significant].

En S<sub>2</sub> el  $\psi$ ,  $\pi$  y  $p$ , y CRA con AN (Figuras 3a, b, c y d) y BN (Figuras 3e, f, g y h) variaron de -4 a -29, -12 a -20 y 9 a -8 bares, 20 a 85%, respectivamente.

treatments the  $\psi$  drought,  $\pi$  and  $p$ , and CRA were different ( $p \leq 0.05$ ) between genotypes in some measurement dates and very low values were achieved off over the period of drought.



**Figura 3. Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en sequía 2 con dosis alta (a, b, c, y d) y baja de nitrógeno (e, f, g, y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Estado de México. [\* ( $p \leq 0.05$ ); ns= no significativo].**

**Figure 3. Water potential (a and e), osmotic (b and f) and turgidity (c and g) and relative water content (d and h) in dry 2 high dose (a, b, c, d) and low nitrogen (e, f, g and h) under greenhouse conditions, summer-autumn cycle 2013. Montecillo, State of Mexico. [\* ( $p \leq 0.05$ ); ns= not significant].**

Para S<sub>3</sub> con AN (Figura 4a, b, c y d) y BN (Figuras 4e, f, g y h), los rangos de variación fueron:  $\psi$  (-6 a -30 bares),  $\pi$  (-12 a -24) y  $p$  (6 a -5 bares), y CRA de 18 a 85%. Para todos los tratamientos de sequía los  $\psi$ ,  $\pi$  y  $p$ , y CRA presentaron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) entre genotipos en algunas fechas de medición y se alcanzaron valores muy bajos conforme transcurrió el periodo de sequía.

La sequía disminuyó el  $\psi$  a -18, -22 y -15 bares en diferentes genotipos de maíz, sorgo y tabaco al medio día en las hojas superiores del dosel del cultivo; el  $\pi$  también disminuyó aunque no al mismo grado que lo hizo el  $\psi$ , de tal forma que el  $p$  tuvo valores de cero en algunas hojas; la disminución del  $\pi$  en las hojas más altas del dosel del cultivo, dio como

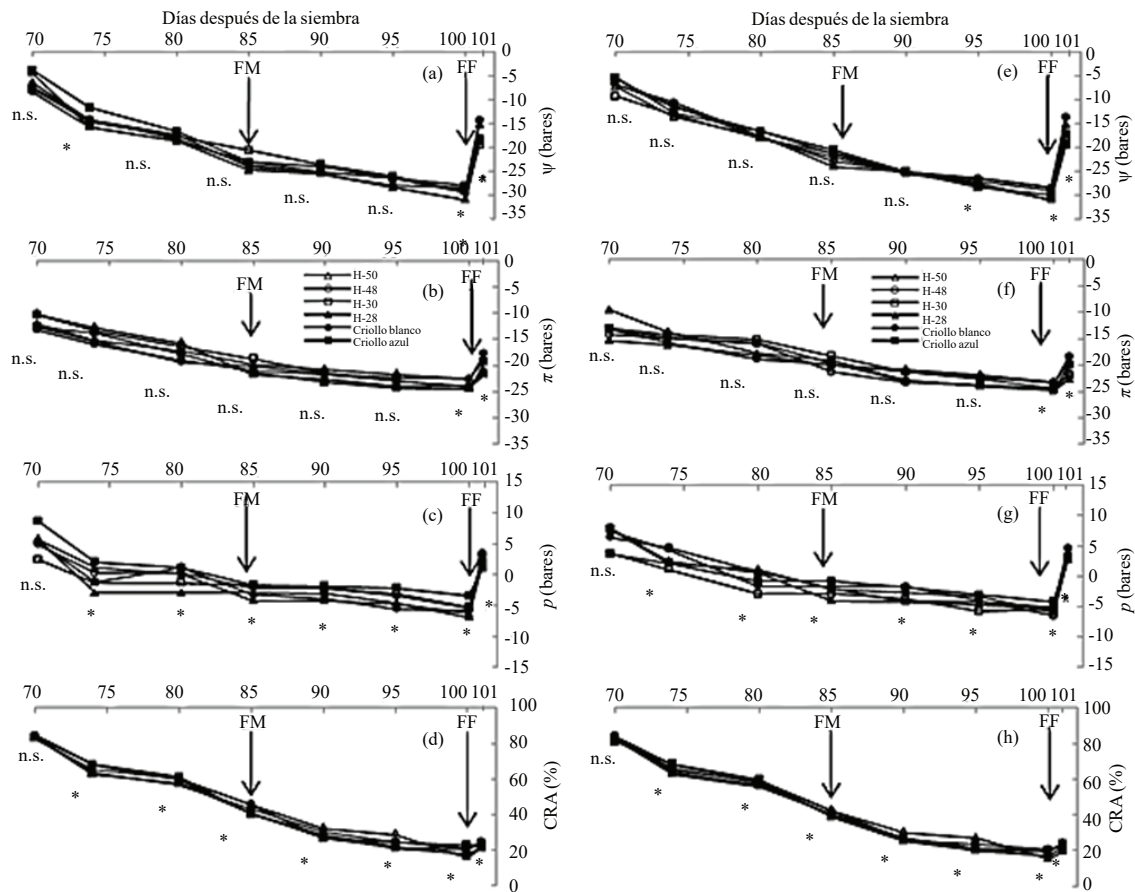
The drought decreased the  $\psi$  to -18, -22 and -15 bars in different genotypes of maize, sorghum and snuff at noon in the upper leaves of the crop canopy; the  $\pi$  also declined but not to the same degree as did the  $\psi$ , so that the  $p$  was zero values on some leaves;  $\pi$  decreased in the highest leaves the crop canopy, it resulted in these sheets have high  $p$  more than a given  $\psi$ ; stomatal resistance topsheets increased to more negative values  $\psi$  in three crops used and was also observed that higher plants of snuff leaves withered to more negative values  $\psi$  the lower leaves of crop canopy (Turner, 1974).

When comparing the behavior of a hybrid corn *Sorghum halapense* under irrigation (75% CC) and water deficit (23.5-25% CC) for 24 d, was determined that the *Sorghum*



resultado que estas hojas tuvieran más alto  $p$  a un  $\psi$  dado; la resistencia estomática de las hojas superiores aumentó a valores más negativos del  $\psi$  en los tres cultivos utilizados y se observó también que las hojas superiores en las plantas de tabaco, se marchitaron a valores más negativos del  $\psi$  que las hojas inferiores del dosel del cultivo (Turner, 1974).

*halapense* made a continuous absorption of water, which will be allowed achieve greater  $\psi$  with respect to hybrid corn and keep the CRA above 70% in conditions of low water availability, which was reflected in an active gas exchange (Acciaresi *et al.*, 2012). Avendaño *et al.* (2005) observed that improved varieties of corn Zacatecas-58 (cycle 19 mass selection) and CAFIME (Cycle 16 mass



**Figura 4.** Potencial hídrico (a y e), osmótico (b y f) y de turgencia (c y g), y contenido relativo del agua (d y h) en sequía 3 con dosis alta (a, b, c, y d) y baja de nitrógeno (e, f, g y h) en condiciones de invernadero, ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Estado de México. [\* ( $p \leq 0.05$ ); ns= no significativo; FM= floración masculina; FF= floración femenina].

**Figure 4.** Water potential (a and e), osmotic (b and f) and turgidity (c and g) and relative water content (d and h) in drought 3 with high dose (a, b, c, d) and low nitrogen (e, f, g and h) under greenhouse conditions, summer-autumn cycle 2013. Montecillo, State of Mexico. [\* ( $p \leq 0.05$ ); ns= not significant, FM= male flowering; FF= silking.]

Al comparar el comportamiento de un híbrido de maíz con *Sorghum halapense*, bajo riego (75% CC) y déficit hídrico (23.5-25% CC) durante 24 d, se determinó que el *Sorghum halapense* realizó una absorción continua de agua, lo que le permitió alcanzar un mayor  $\psi$  con respecto al híbrido de maíz y mantener el CRA por encima de 70% en condiciones de baja disponibilidad hídrica, lo que se reflejó en un intercambio gaseoso activo (Acciaresi *et al.*, 2012). Avendaño *et al.* (2005) observaron que las variedades

selection), had lower  $\psi$  and  $\pi$  than the original varieties (Zacatecas 58 and CAFIME) under drought conditions edaphic (10 d in soil PMP).

In the present study it was observed that the physiological behavior of germplasm under conditions of water stress and nitrogen deficiencies (DN) in the soil was similar in the vegetative stage ( $S_1$ ) before the start of flowering ( $S_2$ ) and during flowering and the beginning of grain filling ( $S_3$ )

mejoradas de maíz Zacatecas-58 (ciclo 19 de selección masal) y Cafime (ciclo 16 de selección masal), presentaron menor  $\psi$  y  $\pi$  que las variedades originales (Zacatecas 58 y Cafime) sometidas a condiciones de sequía edáfica (10 d en PMP del suelo).

En el presente estudio se observó que el comportamiento fisiológico del germoplasma bajo condiciones de estrés hídrico y deficiencias de nitrógeno (DN) en el suelo fue similar en la etapa vegetativa ( $S_1$ ), antes del inicio de la floración ( $S_2$ ) y durante la floración y el inicio del llenado del grano ( $S_3$ ), sin que se hayan observado diferencias en el  $\psi$ ,  $\pi$  y  $P$ , y CRA entre las plantas con AN y BN. También, se observó que los genotipos que mantuvieron valores de  $\psi$ ,  $\pi$  y  $P$ , y CRA más altos al finalizar los tratamientos de sequía, reaccionaron más rápidamente al riego de recuperación.

### Expansión del área foliar

La mayor reducción en la EAF de la planta se observó en los tratamientos de sequía (14.2 %) en comparación con los de riego (Cuadro 2). En la etapa vegetativa se observaron los valores más bajos de la expansión del área foliar (17.1%) ( $S_1$ , 30-40 dds), en comparación con las otras etapas fenológicas del cultivo: floración e inicio del crecimiento de grano. La mayor expansión de área foliar (EAF) la presentaron tres de los seis materiales evaluados: H-50, H-48 y criollo blanco, en los cuatro tratamientos evaluados.

El mayor efecto del estrés hídrico en la expansión del área foliar en la etapa vegetativa ( $S_1$ ) se debió a que el área foliar de las plantas al inicio del ciclo, se encontraba en plena expansión y en esta etapa fenológica, la deficiencia de agua tiene mayor efecto al reducir la velocidad de elongación de las hojas que cuando las plantas han extendido completamente el área foliar ( $S_2$ ), incluyendo la hoja bandera ( $S_3$ ), donde el efecto de las deficiencias hídricas tiene menor efecto en la elongación de las hojas; Bänziger *et al.* (2012) determinaron que la sequía durante el periodo anterior a la floración en maíz disminuye el desarrollo del área foliar y la tasa fotosintética, y estas reducciones en el tamaño del área fotosintética y la actividad fotosintética de la planta, se reflejan en una drástica reducción de la producción de mazorcas y granos durante las dos semanas de la floración. Las diferencias en la EAF también se observaron entre los tratamientos de AN y BN; la EAF disminuyó 19.4, 3.8 y 7.4% por efecto del BN en  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  (Cuadro 2), y 14.8, 6.8 y 11.6% en los respectivos tratamientos de R (Cuadro 2).

without any observed differences in  $\psi$ ,  $\pi$  and  $P$ , and CRA between plants with AN and BN. Also, it observed that genotypes maintained values,  $\pi$  and  $P$ , and CRA higher at the end of treatment drought, irrigation reacted faster recovery.

### Leaf area expansion

The greatest reduction in EAF plant was observed in drought treatments (14.2%) compared with irrigation (Table 2). In the vegetative stage were observed the lowest values of leaf area expansion (17.1%) ( $S_1$ , 30-40 dds) compared with the other phenological stages of the crop: start flowering and grain growth. The largest expansion of leaf area (EAF) the presented three of the six materials tested: H-50, H-48 and white creole, in the four treatments evaluated.

The greatest effect of water stress on the expansion of leaf area in the vegetative stage ( $S_1$ ) was due to leaf area of plants at the beginning of the cycle was in full expansion and this phenological stage, water deficiency has greater effect in reducing the elongation speed of leaves when plants are fully extended leaf area ( $S_2$ ) including the flag leaf ( $S_3$ ) where the effect of water deficiency has less effect on leaf elongation; Bänziger *et al.* (2012) found that drought during the period prior to flowering in corn reduces leaf area development and photosynthetic rate, and these reductions in the size of photosynthetic area and photosynthetic activity of the plant, they are reflected in a drastic reduction production of cobs and grains during the two weeks of flowering. Differences in EAF were also observed between treatments AN and BN; EAF decreased 19.4, 3.8 and 7.4% due to the BN in  $S_1$ ,  $S_2$  and  $S_3$  (Table 2), and 14.8, 6.8 and 11.6% in the respective treatments of R (Table 2).

Vos *et al.* (2005), by subjecting plants of the hybrid Lincoln corn N doses ranging from 0.5 to 6 g per plant under greenhouse conditions, they observed that the low N reduced to 29% total leaf area and 16% the end area the largest leaf of the plant, confirming the importance of N in corn EAF with deficient N.

### Flowering

In R,  $S_1$  and  $S_2$  the H-48 and H-50 with AN and BN had fewer days A and FF than other genotypes and  $S_3$  the blue creole had fewer days to FM and FF than the other genotypes (Table 3); similar differences between hybrids and creoles were observed under field conditions with R, drought and high

**Cuadro 2. Expansión del área foliar acumulada en seis genotipos de maíz bajo riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con dosis alta (AN) y baja de nitrógeno (BN) a los 40, 70 y 100 días después de la siembra, en condiciones de invernadero. Ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

**Table 2. Expansion of leaf area accumulated in six genotypes of maize under irrigation, drought 1, drought 2 and 3 with high doses drought (AN) and low nitrogen (BN) at 40, 70 and 100 days after planting, under greenhouse conditions. Cycle summer-autumn 2013. Montecillo, Texcoco, State of Mexico.**

Variedades	Riego (40 dds)		Sequia 1 (40 dds)		Riego (70 dds)		Sequia 2 (70 dds)		Riego (100 dds)		Sequia 3(100 dds)	
	(cm <sup>2</sup> /planta)		(cm <sup>2</sup> /planta)		(cm <sup>2</sup> /planta)		(cm <sup>2</sup> /planta)		(cm <sup>2</sup> /planta)		(cm <sup>2</sup> /planta)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	197.5a	143.6b	142.9a	104.6d	935a	876.6a	702.9b	663.6a	1191.2a	1004.5a	1058.7a	925a
H-48	173.1ab	157.1a	132.3ab	121.9a	737ab	662.2e	727.2a	657.3b	915.7f	839.1e	922.5b	872.3b
H-30	122.9ab	99.4f	65.6b	60.9f	717.5ab	663.2d	530.6f	582.3f	976.3d	832e	858.1d	816.1d
H-28	112.1b	102.1e	99.1ab	97.1e	654.4b	599.6f	642.4d	592.6e	977.7c	861.6d	842.3f	788.6f
Criollo blanco	169.4ab	142.7c	129.5ab	113.3c	760.4ab	749.2b	672c	640c	1025.1b	916.5b	920.9c	835.9c
Criollo azul	118.4b	115.9d	115.9ab	113.8b	729.3ab	672.9c	612.8e	606.2d	945.4e	878.3c	850.3e	810.2e
Media general	148.9	126.8	112.6	101.9	755.6	704	648	623.7	1005.2	888.7	908.8	841.4
DMS ( $p \leq 0.05$ )	12.1	14.2	17.7	19.3	8.4	9.9	15.8	21.6	8.4	0.3	3.4	12.2

Vos *et al.* (2005), al someter plantas del híbrido Lincoln de maíz a dosis de N que variaron de 0.5 a 6 g por planta en condiciones de invernadero, observaron que el bajo N redujo hasta 29% el área foliar total y 16% el área final de la hoja más grande de la planta, lo que confirma la importancia del N en la EAF en maíz con deficiencias de N.

### Floración

En R, S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> el H-48 y H-50 con AN y BN tuvieron menor número de días A y FF que los demás genotipos y en S<sub>3</sub> el criollo azul tuvo menor número de días a FM y FF que los otros genotipos (Cuadro 3); diferencias similares entre híbridos y criollos fueron observadas en condiciones de campo con R, sequía y alto y bajo N, donde los criollos bajo sequía tuvieron menor número de días a A que los híbridos, sin diferencias entre criollos e híbridos para el número de días a FF y el intervalo anthesis-floración femenina (IA-FF) (Serrem *et al.*, 2009). Los efectos mayores de la deficiencia hídrica se manifiestan en el desarrollo floral y fallas en la fertilización y aborto de cigotos (Saini and Westgate, 2000), receptividad del estigma (Bassetti y Westgate, 1993) y el proceso de polinización (Sawhney y Shukla, 1994).

La sequía retrasó ( $p \leq 0.05$ ) en promedio la A y la FF en 0.5, 7.5 y 11 d, y 0.5, 7.5 y 21 d con relación a riego en S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> y S<sub>3</sub>, respectivamente. La deficiencia de nitrógeno retrasó la anthesis un día en S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>, la FF se retrasó un día en S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>, y dos d en S<sub>3</sub>, sin presentar cambios en riego. Los efectos

and low N, where the creoles under drought had fewer days A hybrids, with no difference between creole and hybrids for the number of days FF and the interval anthesis-flowering female (IA-FF) (Serrem *et al.*, 2009). The greatest effects of water deficiency are manifested in floral development and failures in fertilization and abortion of zygotes (Saini and Westgate, 2000), stigma receptivity (Bassetti and Westgate, 1993) and the pollination process (Sawhney and Shukla, 1994).

The drought delayed ( $p 0.05$ ) on average A and FF at 0.5, 7.5 and 11 d, and 0.5, 7.5 and 21 d with respect to irrigation S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> and S<sub>3</sub>, respectively. The nitrogen deficiency anthesis delayed a day at S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>, the FF was delayed a day at S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub> and two d in S<sub>3</sub>, without presenting changes in irrigation. The effects of the soil water content were also observed in the IA-FF in S<sub>3</sub>; the IA-10 D FF it lengthened in S<sub>3</sub> with respect to R, without presenting changes in R, S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>; this elongation in the IA-FF was so important that prevented the formation of grain on all corn plants in S<sub>3</sub>; nitrogen deficiencies had only effect on plants in S<sub>3</sub>, where the IA-FF was nine days longer than in R with AN and 11 days longer than in R with BN. In S<sub>3</sub> the jilote the H-30 and AN white creole, and H-30, H-28 and BN white creole with no stigmas issued due to water stress (Table 3).

The number of days to A and FF was delayed seven days on average corn plants with BN eight d in plants with AN in S<sub>2</sub>, and 11 and 20 d with AN, and 11 and 22 d with BN S<sub>3</sub>. On average the IA-FF in the presence of severe EH (S<sub>3</sub>) was higher

del contenido hídrico edáfico también se observaron en el IA-FF en S<sub>3</sub>; el IA-FF se alargó 10 d en S<sub>3</sub> con respecto a R, sin presentar cambios en R, S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>; este alargamiento en el IA-FF fue tan importante que evitó la formación de grano en todas las plantas de maíz en S<sub>3</sub>; las deficiencias de nitrógeno sólo tuvieron efecto en las plantas en S<sub>3</sub>, donde el IA-FF fue nueve días más largo que en R con AN y 11 días más largo que en R con BN. En S<sub>3</sub> el jilote del H-30 y el criollo blanco con AN, y el H-30, H-28 y el criollo blanco con BN no emitieron los estigmas debido a estrés hídrico (Cuadro 3).

with AN (15 d) and BN (17 d) in R with AN and BN (six d); S<sub>1</sub> with AN and BN (six d); and S<sub>2</sub> with AN (six d) and BN, where the asynchrony between the blooms was higher (15 d with AN and 17 d BN) in R (six d with AN and BN), S<sub>1</sub> (six d with AN and BN) and S<sub>2</sub> (six d with AN and BN). Studies under field conditions show that the drought delayed 1.5 d A three d FF with respect to R and IA-FF rose three d lines S<sub>1</sub> of creole Ibarilla, the effect of drought (Reyes-Ramones, 2000) and in drought conditions in greenhouses, it was determined that the drought delayed 19 d a and 18 d FF average of

**Cuadro 3. Días a anthesis (A) y floración femenina (FF) en seis genotipos de maíz bajo riego, sequía 1, sequía 2 y sequía 3 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero. Ciclo de verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

**Table 3. Days to anthesis (A) and silking (FF) in six genotypes of maize under irrigation, drought 1, drought 2 and drought 3 high (AN) and under nitrogen (BN), under greenhouse conditions. Cycle summer-autumn 2013. Montecillo, Texcoco, State of Mexico.**

Variedades	Riego		Sequía 1				Sequía 2				Sequía 3					
	AN		BN		AN		BN		AN		BN		AN		BN	
	A	FF	A	FF	A	FF	A	FF	A	FF	A	FF	A	FF	A	FF
H-50	74ab	77ab	75ab	78ab	76b	79bc	75ab	78b	77b	83d	78bc	83d	80bc	115a	81c	116a
H-48	71b	74b	72b	75b	72b	75c	72b	76b	84ab	88bc	85a	89bc	85abc	99b	84bc	98b
H-30	80a	84a	81a	85a	81a	85a	82a	86a	84ab	88bc	83ab	87cd	90ab	¶	89ab	¶
H-28	76ab	81ab	76ab	82ab	75b	81ab	76ab	83a	78b	85cd	77c	84d	79c	91d	81c	¶
Criollo Blanco	73ab	82ab	72b	83a	73b	83ab	74ab	83a	85a	90ab	86a	94a	93a	¶	92a	¶
Criollo Azul	70b	81ab	70b	79ab	71b	82ab	71b	83a	81ab	92a	82bc	91ab	83bc	93c	83bc	92c
Media general	74	80	74	80	74	80	75	81	81	87	82	88	85	100	85	102
DMS ( $p \leq 0.05$ )	7.0	10.2	7.4	7.8	5.1	5.9	8.4	3.1	7.0	3.8	5.9	4.0	9.6	1.9	6.9	2.4

¶ Sin floración.

El número de días a A y FF se retrasó siete días en promedio en las plantas de maíz con BN y ocho d en las plantas con AN en S<sub>2</sub>, y 11 y 20 d con AN, y 11 y 22 d con BN en S<sub>3</sub>. En promedio el IA-FF en presencia de EH severo (S<sub>3</sub>) fue mayor con AN (15 d) y BN (17 d) que en R con AN y BN (seis d); S<sub>1</sub> con AN y BN (seis d); y S<sub>2</sub> con AN (seis d) y BN, donde la asincronía entre las floraciones fue mayor (15 d con AN y 17 d con BN) que en R (seis d con AN y BN), S<sub>1</sub> (seis d con AN y BN) y S<sub>2</sub> (seis d con AN y BN). Estudios en condiciones de campo muestran que la sequía retrasó 1.5 d la A y tres d la FF con respecto a R y el IA-FF aumentó tres d en líneas S<sub>1</sub> de criollo de Ibarilla, por efecto de la sequía (Reyes-Ramones, 2000) y en condiciones de sequía en invernadero, se determinó que la sequía retrasó 19 d la A y 18 d la FF en promedio de cuatro variedades de maíz (Cafime original, Zacatecas 58 original, Cafime SM16 y Zacatecas 58 SM19), sin cambios significativos en el IA-FF (Avendaño *et al.*, 2008).

four varieties of maize (Original CAFIME Zacatecas 58 original, CAFIME SM16 and Zacatecas 58 SM19), without significant changes in the IA-FF (Avendaño *et al.*, 2008).

### Grain yield and its components

In S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>, the EH reduced 8 and 27% the RG and reduced nitrogen deficiencies RG 25, 20 and 18% in R, S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>; H-48 scored higher RG ( $p \leq 0.05$ ) than the other genotypes in R and S<sub>1</sub> with AN and BN; H-48 and H-50 obtained greater RG ( $p \leq 0.05$ ) than the rest of the genetic material in S<sub>2</sub> with AN and BN (Table 4). In S<sub>3</sub> it did not occur in any of the grain materials evaluated.

The number of normal grains cob<sup>-1</sup> (NGNM) also decreased as a result of the drought although this reduction was smaller in magnitude than the RG; the NGNM decreased 8 to 15% by S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>, and 2.3, 5.7 and 3.5% by effect of BN in R, S<sub>1</sub>

### Rendimiento de grano y sus componentes

En  $S_1$  y  $S_2$ , el EH redujo 8 y 27% el RG y las deficiencias de nitrógeno redujeron el RG 25, 20 y 18% en R,  $S_1$  y  $S_2$ ; el H-48 obtuvo mayor RG ( $p < 0.05$ ) que los demás genotipos en R y  $S_1$  con AN y BN; el H-48 y H-50 obtuvieron mayor RG ( $p < 0.05$ ) que el resto de los materiales genéticos en  $S_2$  con AN y BN (Cuadro 4). En  $S_3$  no se produjo grano en ninguno de los materiales evaluados.

and  $S_2$ . Deficiencies of nitrogen increased the number of grains per cob aborted (NGAM) 32% in  $S_1$  and 2% in  $S_2$ . The weight of 100 grains (P100G) was reduced by drought in 13 and 40% in  $S_1$  and  $S_2$ , and 29, 27 and 20% due to low N in R,  $S_1$  and  $S_2$ , respectively (Table 5).

The response of materials corn to drought and nitrogen deficiency in the RG and its components varied with the phenological stage, duration and intensity of the EH in

**Cuadro 4. Rendimiento de grano de seis genotipos de maíz evaluados bajo riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN), en condiciones de invernadero. Ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**  
**Table 4. Grain yield six maize genotypes evaluated under irrigation, drought 1 and drought 2 with high (AN) and under nitrogen (BN), under greenhouse conditions. 2013 summer-autumn cycle Montecillo, Texcoco, State of Mexico.**

Variedades	Riego (g/planta)		Sequia 1 (g/planta)		Sequia 2 (g/planta)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
H-50	67.2b	52.3b	53.3b	47.6b	46.8b	42.6b
H-48	76.8a	70.2a	70.4a	68.2a	65.6a	55.1a
H-30	45e	23.6f	42.5e	21.1f	20.3f	15.7f
H-28	51.6d	40c	48.1d	38.6c	36.2d	34.7c
Criollo Blanco	36.8f	29.5e	34.3f	28.3e	23.1e	17.4e
Criollo Azul	55c	35.3d	50.5c	34.1d	40.3c	25.2d
Media general	55.4	41.8	49.9	39.7	38.8	31.8
DMS ( $p \leq 0.05$ )	53.8	54.5	40.1	47.9	40.8	46.3

El número de granos normales mazorca<sup>-1</sup> (NGNM) también se redujo por efecto de la sequía aunque esta reducción fue de menor magnitud que el RG; el NGNM disminuyó 8 y 15% en  $S_1$  y  $S_2$ , y 2.3, 5.7 y 3.5% por efecto del BN en R,  $S_1$  y  $S_2$ . Las deficiencias de nitrógeno aumentaron el número de granos abortados por mazorca (NGAM) 32% en  $S_1$  y 2% en  $S_2$ . El peso de 100 granos (P100G) se redujo por la sequía en 13 y 40% en  $S_1$  y  $S_2$ , y 29, 27 y 20% por efecto del bajo N en R,  $S_1$  y  $S_2$ , respectivamente (Cuadro 5).

La respuesta de los materiales de maíz a la sequía y las deficiencias de nitrógeno en el RG y sus componentes varió con la etapa fenológica, la duración y la intensidad del EH en los diferentes tratamientos de HE; en  $S_1$  (30-40 dds) la reducción en el RG y sus componentes NGNM y P100G, por efecto de la sequía (Grant *et al.*, 1989) y las deficiencias de nitrógeno fue mucho menor que en  $S_2$  (50-70 dds) y sobre todo  $S_3$  (70-100 dds) donde las plantas de maíz no produjeron grano. El EH redujo el RG y sus componentes en mayor grado que las deficiencias de nitrógeno en todos los genotipos; el RG se reduce cuando las plantas sufren EH severo durante el periodo de floración (Nielsen, 2013); el aborto de granos y mazorcas al inicio del llenado de grano y la reducción de la fotosíntesis (Bänziger *et al.*, 2012).

different treatments EH; in  $S_1$  (30-40 dds) reduction in the RG and its components NGNM and P100G, the effect of drought (Grant *et al.*, 1989) and nitrogen deficiencies was much lower than in  $S_2$  (50-70 dds) and especially  $S_3$  (70-100 dds) where corn plants did not produce grain. The EH reduced RG and its components in greater deficiencies of nitrogen in all genotypes; RG is reduced when plants suffer severe EH during the flowering period (Nielsen, 2013); the kernel abortion and cobs at the start of grain filling and reduce photosynthesis (Bänziger *et al.*, 2012).

### Conclusions

The hybrids maintained and turgidity increased water potential and relative water content until the end of the drought treatments, had higher resilience to water stress and greater expandability leaf area under high and low nitrogen. Drought delayed the male and female flowering, and reached anthesis-flowering interval female, reduced grain yield and its components number of grains cob<sup>-1</sup> and grain size, and this effect was greater in drought three when it coincided with the

**Cuadro 5. Número de granos normales mazorca<sup>-1</sup> (GN) y peso de 100 granos (P100G) en seis genotipos de maíz evaluados bajo riego, sequía 1 y sequía 2 con alto (AN) y bajo nitrógeno (BN) en condiciones de invernadero, ciclo verano-otoño 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

**Table 5. Number of normal grains cob<sup>-1</sup> (GN) and weight of 100 grains (P100G) in six maize genotypes evaluated under irrigation, drought 1 and drought 2 with high (AN) and under nitrogen (BN) under greenhouse conditions, summer-autumn cycle 2013. Montecillo, Texcoco, State of Mexico.**

Variedades	Riego				Sequia 1				Sequia 2			
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
	GN		P100G		GN		P100G		GN		P100G	
H-50	218a	216a	32c	28ab	210a	181a	25cd	22bc	178a	167ab	21b	19ab
H-48	215a	210a	37b	33a	204a	195a	34ab	32a	183a	180a	30a	25a
H-30	135c	130cd	37b	17c	118c	116d	31bc	15d	112cd	108d	14cd	10cd
H-28	169b	160b	30cd	26b	163b	155b	27bcd	21c	152b	141bc	19bc	18b
Criollo Blanco	142c	140c	26d	16c	139bc	137c	23d	15d	128c	125cd	12d	9d
Criollo Azul	128c	125d	48a	28ab	113c	112d	41a	26b	106d	104d	25ab	15bc
Media general	168	164	35	25	158	149	30	22	143	138	20	16
DMS ( $p \leq 0.05$ )	18.7	13.2	5.5	4.9	26.3	15.9	8.2	4.6	17.6	27.6	6.5	5.2

## Conclusiones

Los híbridos mantuvieron mayor potencial hídrico y de turgencia, y contenido relativo de agua hasta el final de los tratamientos de sequía, tuvieron mayor capacidad de recuperación al estrés hídrico y mayor capacidad de expansión del área foliar en condiciones de alto y bajo nitrógeno. La sequía retrasó la floración masculina y femenina, y alargó el intervalo anthesis-floración femenina, redujo el rendimiento de grano y sus componentes número de granos mazorca<sup>-1</sup> y tamaño de grano, y este efecto fue mayor en sequía tres, cuando coincidió con la anthesis y la floración femenina, causando que las plantas de maíz no produjeron rendimiento de grano en alto y bajo nitrógeno. Los híbridos superaron a los criollos en el rendimiento de grano y granos normales mazorca<sup>-1</sup>. Los híbridos superaron a los criollos en el P100G en condiciones de sequía con deficiencias de nitrógeno. Con alto y bajo N los criollos alcanzaron la anthesis y floración femenina en menor tiempo que los híbridos y tuvieron un intervalo anthesis-floración femenina más largo que los híbridos en la sequía de diez días. Los híbridos alcanzaron la anthesis y floración femenina en menor tiempo que los criollos y tuvieron un intervalo anthesis-floración femenina más corto que los criollos cuando se aplicó la sequía antes de la floración.

anthesis and silking, causing corn plants produced no grain yield in high and low nitrogen. The hybrids outperformed the creoles in grain yield and normal grains cob<sup>-1</sup>. Hybrids outperformed the Creoles in the P100G in drought conditions with nitrogen deficiencies. High and low in N the creoles reached anthesis and silking in less time than hybrids and had a anthesis-flowering interval longer than hybrids drought female ten days. Hybrids reached anthesis and silking in less time than the creoles and had an anthesis-flowering interval shorter female Creoles when drought was applied before flowering.

*End of the English version*



## Literatura citada

- Acciariasi, H. A.; Zuluaga, M. S.; Yannicani, M. E. and Guimet, J. J. 2012. *Zea mays* and *Sorghum halepense* water competition and their impact on leaf gas exchange. *Ecosistemas* 21:103-109.
- Acevedo, E.; Hsiao, T. C. and Henderson, D. W. 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiol.* 48:631-636.
- Avendaño, A. C. H.; Trejo, L. C.; López, C. C.; Molina, G. J. D.; Santacruz, V. A. y Castillo, G. F. 2005. Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. *Interciencia.* 30:560-564.

- Avendaño, A. C. H.; Molina, G. J. D.; Trejo, L. C.; López, C. C. y Cadena, I. I. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agron. Mesoam.* 19:27-37.
- Bänziger, M.; Edmeades, G. O.; Beck, D. and Bellon, M. 2000. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: From theory to practice. *In: CIMMYT (Ed.)*. De la teoría a la práctica. México, D.F.: CIMMYT. 68 p.
- Bänziger, M.; Edmeades, G. O.; Beck, D. y Bellon, M. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: *In: CIMMYT (Ed.)*. De la teoría a la práctica. México, D. F., CIMMYT. 61 p.
- Barrios, G. E. J.; López, C. C.; Kohashi, S. J.; Acosta, G. J. A.; Miranda, C. S. y Mayek, P. N. 2010. Rendimiento de semilla y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Barrios, G. E. J.; López, C. C. y Kohashi, S. J. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "Flor de Mayo". *Agron. Costar.* 35:131-145.
- Bassetti, P. and Westgate, M. E. 1993. Water deficit affects receptivity of maize silks. *Crop Sci.* 33:279-282.
- Begg, J. E. and Turner, N. C. 1976. Crop water deficits. *Adv. Agron.* 28:161-217.
- Bolaños, J. and Edmeades, G. O. 1990. CIMMYTs' strategies in breeding for drought tolerance in tropical maize: *In: Unger, P. W.; Jordan, W. R.; Sneed, T. V. and Jensen, R. W. (Eds.)*. Challenges in dryland agriculture - a global perspective. Proceedings of the International Conference on Dryland Farming. Texas Agricultural Experiment Stations, College Station, Texas, USA. 752- 754 pp.
- Bolaños, J. and Edmeades, G. O. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass, and radiation utilization. *Field Crops Res.* 31:233-252.
- Edmeades, G. O.; Bolaños, J.; Lafitte, H.R.; Rajaram, S.; Pfeiffer, W. and Fischer, R. A. 1989. Traditional approaches to breeding for drought resistance in cereals. *In: Baker, F. W. G. (Ed.)*. Drought resistance in cereals. CAB International, U. K. 27-52 pp.
- Grant, R. F.; Jackson, B. S.; Kiniry, J. R. and Arkin, G. F. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.* 81:61-65.
- Nielsen, R. L. 2013. Effects of stress during grain filling in corn. Corny news network articles. Department of Agronomy, Purdue University. <http://www.kingcorn.org/news/timeless/StalkHealth.html>.
- Reyes, R. R. E.; Rodríguez, O. J. L. † y López, C. C. 2000. Resistencia a sequía de líneas S<sub>1</sub> derivadas de la variedad de maíz criollo de Ibarra. *Agric. Téc. Méx.* 26:159-172.
- Saini, H. S. and Westgate, M. E. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Adv. Agron.* 68:59-96.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. The SAS System Release 9.0 for Windows, SAS Institute.
- Sawhney, V. K. and Shukla, A. 1994. Male sterility in flowering plants: Are plant growth substances involved? *Amer. J. Bot.* 81:1640-1647.
- Serrem, C. K.; López, C. C. y Kohashi, S. J. 2009. Efecto del nivel de humedad y nitrógeno en el suelo en el comportamiento de maíces híbridos y criollos de los Valles Altos de México. *Agron. Costar.* 33:103-120.
- Turner, N. C. 1974. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. *Plant Physiol.* 53:360-365.
- Vos, J.; van der Putten, P. E. L. and Birch, C. J. 2005. Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Res.* 93:64-73.